# 图解3D打印

[支持Windows / Mac OS X / iOS]
本书3D数据可直接下载

## 用Autodesk 123D Design和3D打印机自制小物件

[日] 水野操 著 陶旭 译

手把手教你做 马克杯、收纳盒、笔筒、名片盒、靠背椅和卡通兔！

789张彩色图片详细解说
保证零失败！



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

# 数字版权声明

## 水野操（Misao Mizuno）

Nikola设计技术公司董事长，日本3D-GAN理事。20世纪90年代活跃在CAD/CAE/PLM行业，常年在大型PLM供应商、咨询公司从事制造业的相关工作。2004年创立Nikola设计技术公司后，主要致力于自主产品的开发及3D数据相关业务的扶持工作，并积极支持CAD/CAM/CAE/PLM等工具的引入。著有《数字创业》（KANKI出版社）、《图解三维CAD》（日刊工业新闻社）、《写给菜鸟的3D打印机&周边工具使用指南》（Kindle版）等。

## 陶旭

曾作为软件工程师在北京和东京从事近十年技术工作，个人喜好手工制作。现为日语自由翻译人。曾出版学术文献翻译丛书，并在多个领域的国际会议及东日本大地震相关CCTV4直播新闻中负责同声传译工作。

TURING

# 图解3D打印

## 用Autodesk 123D Design和3D打印机自制小物件

[日] 水野操 著　陶旭 译



人民邮电出版社
北　京

图书在版编目（CIP）数据

图解3D打印：用Autodesk 123D Design和3D打印机自制小物件 /（日）水野操著；陶旭译. -- 北京：人民邮电出版社，2014.10

ISBN 978-7-115-36727-3

Ⅰ. ①图… Ⅱ. ①水… ②陶… Ⅲ. ①立体印刷—印刷术 Ⅳ. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第183402号



## 内 容 提 要

本书首先介绍了产品制造的相关知识和3D打印机的基本情况。然后以图配文的形式，重点介绍了3D数据的制作方法，讲解了使用免费的Autodesk 123D Design软件进行3D建模的过程，指导读者用最少的花费，DIY出马克杯、收纳盒、笔筒、名片盒、靠背椅和卡通形象，步骤详细、讲解清晰，为读者今后进行更加高级的3D建模打下坚实基础。最后，作者介绍了将3D数据转化为实物的方法，提及多家国际性的成型服务以供读者参考。对3D打印抱有浓厚兴趣却不知如何下手的读者，本书将带您走进3D打印的世界。

◆ 著　　[日]水野 操
译　　陶 旭
责任编辑　乐 馨
执行编辑　高宇涵
责任印制　焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路11号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京　　　　印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：18
字数：243千字　　2014年10月第1版
印数：1－4000册　　2014年10月北京第1次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2014-0511号

定价：99.00元

**读者服务热线：(010)51095186转600　印装质量热线：(010)81055316**

**反盗版热线：(010)81055315**

**广告经营许可证：京崇工商广字第0021号**

# 前 言

自 2012 年下半年起，3D 打印机和个人制造商开始受到广泛关注，近期的“创客热潮”更是将这种关注推向了一个高潮。特别是 3D 打印机，这种可以像施魔法一样在眼前把自己想要的东西制作出来的设备，激发了很多人的强烈兴趣，即使是那些完全没有制造业经验的人也跃跃欲试。而且，似乎是专门为了配合这样的热潮，原本十分昂贵的 3D CAD 软件也开始面向入门级爱好者推出了非常廉价甚至免费的版本。

目前，在设备及制作环境不断发展的大背景下，即使没有传统的大型设备，即使不是大规模企业，也可以制造产品，这点是非常让人心动的，足以让一些对产品制造有兴趣的人为之着迷。

但另一方面，很多人虽然对 3D 打印抱有浓厚兴趣，却不知从何下手。有不少人虽然在电视或报纸上见过 3D 打印机，却没有见过实物。在笔者面向初学者举办的、介绍如何建模打印 iPhone 外壳的研讨会上，每次都有很多与会者提出各种关于个人产品制造的具体问题。

难得大家对这个领域如此有兴趣，如果能帮助大家顺利入门就再好不过了。所以本书将产品制造入门所需的背景资料和基础知识搜罗汇总，希望能够为那些对产品制造感兴趣却苦于不知从何下手的人提供最有效的帮助。

本书介绍了当今世界流行的产品制造的最新潮流及其背景等，并详细介绍了个人实际开始制造产品时所需的各种信息。对于产品制造过程中至关重要的 3D 打印数据，本书将使用免费的 3D CAD 软件 Autodesk 123D Design 来具体演示其制作方法。而且，本书的后半部分还介绍了很多实现 3D 打印的方法和各种相关的成型服务。

对于整个产品制造领域来说，本书所介绍的内容只是入门阶段的一部分，但如果能踏出这最初的一步，相信你一定会爱上这个刺激又有趣的世界。如果这本书能带你走进这个世界，将是笔者莫大的幸福。

2013 年 5 月 吉日
水野 操

## 关于示例数据下载

为向大家提供阅读过程中的练习参考，本书各示例使用的 3D 数据可以从以下支持网站下载。

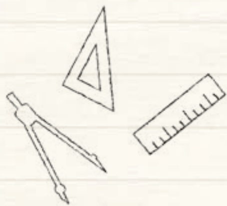
### ● 示例数据下载链接

URL http://download.sbcr.jp/getDLService.php?id=1c17d37758ab928ccbcaf2110176e49c

这里提供下载的数据是 zip 格式压缩文件，请解压后使用。在使用这些数据时请注意如下事项。

- 提供下载的数据仅用于辅助学习本书内容。
- 无论使用该数据引发何种损失，本书作者、SB Creative 公司、人民邮电出版社以及译者概不承担任何责任。
- 本书提供下载的数据享有著作权，不可以公开、修改其部分或整体数据。

# 目录



## 序言



## 第1章


第2章




第3章

第6章

## 实战 产品制造的3D建模之二 ——制作靠背椅、卡通形象



第7章

## 将3D数据制造成实物的方法

引言

# 0.1 在家中制造产品

## 0.1.1 把创意变成实物——产品制造的曙光

从 2012 年下半年开始，一些制造业圈外的人们开始对产品制造感兴趣，到现在已然发展成为一股创客（Makers，指自己制造产品的人）热潮。

这股热潮的形成有很多原因，其中之一便是，从技术角度讲，以往只能依靠大型公司制造的产品现在由个人就可以完成。而且在这样的技术背景下，不断出现了一些个人制造商，即以单人方式或小规模方式运营的制造商，这些人被媒体争相报道，使得越来越多的人关注这种“新兴制造业”，更为这个热潮增温不少。在很多人的印象里，制造业或产品制造通常需要很大的设备和专门的机器，但个人制造的各种成功案例却使大家发现了参与产品制造的魅力所在。

图 ■ 相关报道


3D打印：开启定制时代

中国坐标

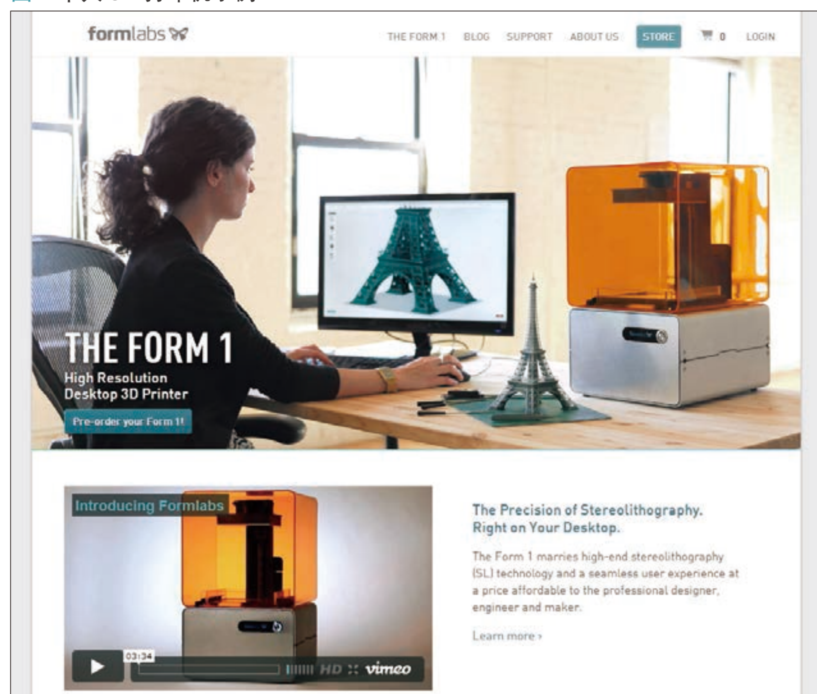
出处：新华网图片频道的报道《3D 打印：开启定制时代》（2013 年 12 月 25 日）

## 0.1.2　3D 打印的廉价趋势及丰富的成型服务

3D 打印机的廉价趋势和丰富的 3D 打印成型服务也是掀起创客热潮的原因之一。所谓 3D 打印机，就是以 3D CAD 或者 3D CG 制作的数据为基础，制造出立体成品（即三维立体成品）的机器设备（本书之后的章节中会详细介绍）。

3D 打印机本身并不是非常新奇的设备，20 多年前就已经开始应用于制造行业了，但是大多数设备的价格超过 1 000 万日元（约合人民币 60 万元），个人不太可能购买使用。近几年来设备的价格大幅降低，现在已经面世的多款个人 3D 打印机，价格大多不超过 30 万日元（约合人民币 1.8 万元）。也正是这个原因，降低了该领域个人创业的门槛。

图 ▪▪ 个人 3D 打印机示例




个人可以轻松使用的小型 3D 打印机 THE FORM1（formlabs.com/）。该机型在日本的上市时间还不确定[①]，在美国的销售定价是 3 300 美元（约合人民币 2 万元）。

另外，现在日本和其他国家也有很多面向个人的 3D 打印成型服务，本书之后会详细介绍相关情况。也就是说，我们只要完成想要制作的产品的数据，即使没有 3D 打印机也可以得到成品。

① 截至 2014 年 4 月，该机型在中国未见现机销售。——译者注

## 0.1.3　个人也可以设计并生产产品的时代

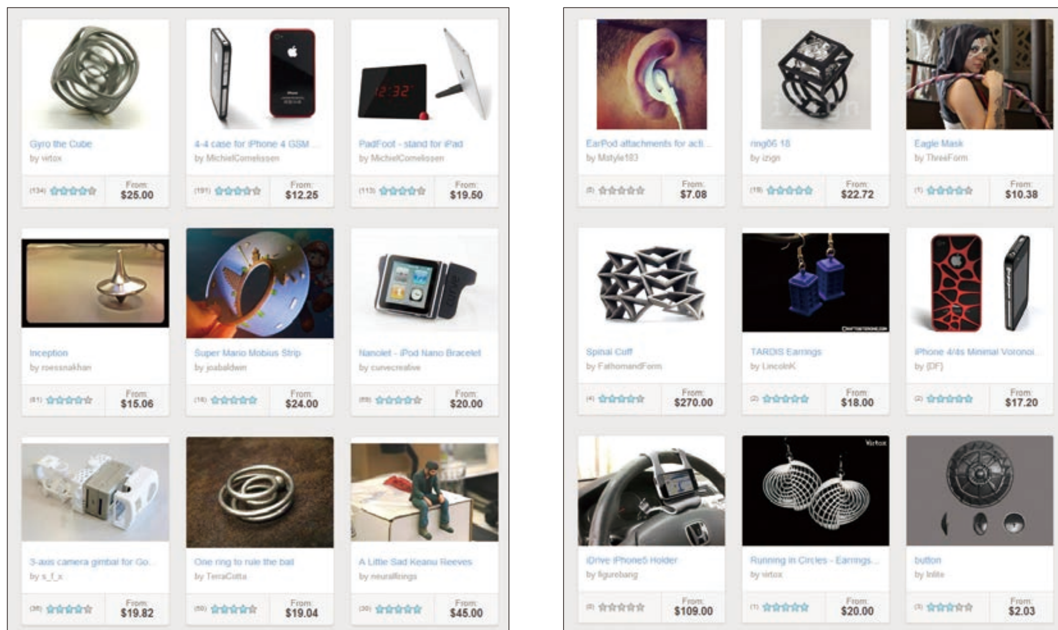
《连线》杂志总编 Chris Anderson 在其 2012 年 10 月的著作 *Makers* 中用非常易懂的方式介绍了美国的个人产品制造和新技术，使更多人开始憧憬产品制造领域。

放眼世界，许多个人或小型公司都已经在使用 3D 打印机和各种设备设计、实际生产并销售产品。虽然在这方面日本还处于方兴未艾的状态，但可以预想到日本终将卷入这个潮流之中，这个领域也将成为制造业的一个新兴部分。

产品制造已经不再局限于大企业，现在只要有优秀的创意就可以将其转变为实物，进而面向全世界开展业务。而且，我们已经来到了即使不出于商业目的，也可以轻松制作自己想要的物品的时代了。如果现有的商品中没有中意的，那自己做一个就可以了。现在无论是手机外壳、名片夹、笔筒之类的小物件，还是模型玩具、戒指项链之类的用品饰品，甚至是椅子或咖啡桌这样的家具都可以按照自己的想法简单地做出来，而且这些专属物品的制作成本也不算高。

下图中展示的商品来自于 shapeways，该网站不仅提供打印成型服务而且实际销售产品，产品的种类也多种多样。

图 ▪ 个人制造产品示例




资料来源：shapeways（www.shapeways.com/）

总之，就是以下这些技术和环境的变化使产品制造业一下子来到了我们身边。

- 3D CAD软件及3D打印机等数字工具的普及和廉价趋势
- 开始从事小规模产品制造的人数急剧增加
- 以往不受理小规模产品制造的企业也逐渐新增相关业务

### 0.1.4　产品制造热潮的兴起

那么，为什么会有那么多人想要成为创客呢？笔者认为其中很大一部分原因是大家都想要自己制作称心的物品。

我们在日常生活中使用的家电之类的物品都是高度工业化的产物，如果出现了问题，找专业的人来修理可能要比买新的还费事。对于一般大众来说，很多产品就像个黑盒子，自己永远无法知道产品的原理和结构。换而言之，这个状态就是把制作过程和用户完全隔离开了，即使产品并不完全符合自己的要求，也不得不从现有的商品中选一种购买。

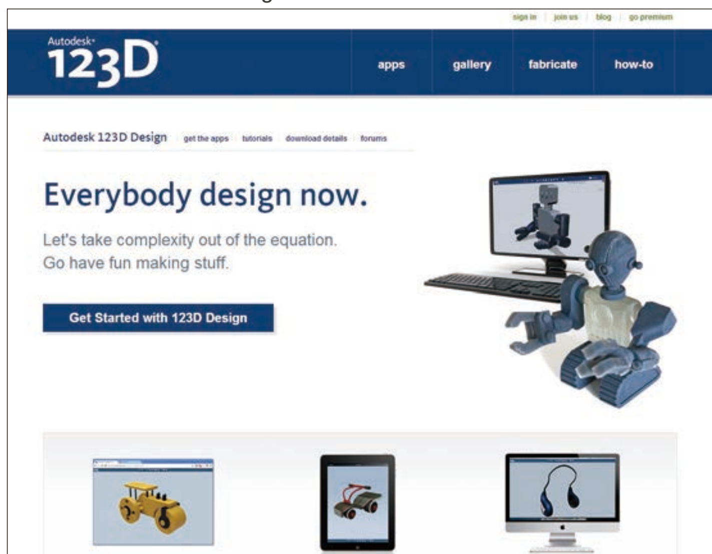
但实际上每个人的内心都希望能够找到完全称心如意的那件商品，或是希望商品的某些方面能够有所改善，所以看到以前无法买到的零件、小物件、玩具、卡通形象之类的物品从眼前的3D打印机中打印出来，无疑会心潮澎湃。想到马上就能拿到自己梦寐以求的东西，无论是谁都会有一种梦想成真的激动吧。

### 0.1.5　在自家制造产品需要做的准备

虽然产品制造已经离我们很近了，但毕竟仍然属于制造业，还是有一些行业难度的。即使制造出来的产品不用于销售只是自用，也有一些需要注意的事项，不然个人产品制造就只能停留于梦想阶段了。

因此，本书在解说产品制造的实际流程时，还将介绍一些目前产品制造所需的数字工具的使用方法，特别将着重介绍3D CAD软件。这里将要介绍的是美国Autodesk公司开发的名为Autodesk 123D Design（以下简称123D Design）的3D CAD软件。

图 Autodesk 123D Design




URL www.123dapp.com/design

这是由美国 Autodesk 公司发布的一款入门级 CAD 软件，该公司同时开发并销售 AutoCAD 等专业 CAD 软件。123D Design 虽然是一款免费软件，但具备了专业级、高性能 CAD 搭载的 3D 建模基本功能，因此是一款很优秀的软件。

这款软件虽然与专业人员使用的数十万至 100 万日元（约合 1 万至几万元人民币）的 CAD 软件相比还有一些局限性，但对于初学者和消费级用户来说已经具备了非常充实的功能，所以可以说是非常适合入门学习的 CAD 软件。如果使用 123D Design 掌握了 3D 建模的基本方法，那么对今后学习专业建模、使用高性能 CAD 进行设计也会有所帮助。

现代有很多最新的制造技术和机械都是以使用 3D 数据为前提的，几乎可以说我们迎来了没有 3D 数据就无法前行的时代，所以也希望读者不仅可以通过本书了解产品制造的流程，更能充分体会到 3D 数据的重要性。在实际操作中，使用免费的 123D Design 制作出正确的数据后，既可以使用专业的 3D 打印机打印出来、也可以通过切削加工（专业产品制造中进行的高精度加工）等方式得到成品。所以，我们可以把制作 3D 数据当作敲门砖，逐渐接近专业领域的产品制造。

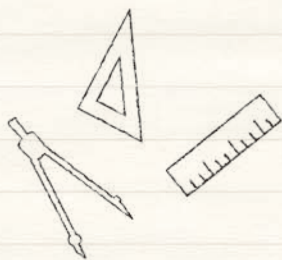
## 0.1.6 本书的结构

本书先从各种角度详细介绍个人在家中制造产品所需的基本知识。在此基础上，借助 Autodesk 公司的 123D Design 软件详细介绍当今社会产品制造的核心，即 3D 数据的制作方法。只有熟练设计 3D 数据才能随心所欲地做出自己想要的物品。笔者常听说有的人因为不会做 3D 数据而无法实现自己的创意，这时虽然可以求助于专业人士，但成本很高。无论是出于商业目的还是仅从自己的兴趣出发，产品制造都需要尽量降低成本。所以，如果

想要在家中制造产品，那么相对于买一台设备，更重要的是先学会 3D 建模。学会了 3D 建模，就可以选择是使用 3D 打印机或切削加工，抑或是注塑成型等各种方式来做出成品，甚至还可以委托相应的制造服务商来为自己生产成品。

在本书最后的部分介绍了建模之后的流程，讲解了很多专业产品制造领域的相关经验，希望能为阅读本书后有更高追求的读者提供前进的方向。在现今社会，即使是非常小的公司也可以面向全世界开展业务。在这样的背景下，笔者建议首先尽量控制成本自己动手，如果确认产品制造领域非常适合自己，再进一步积累知识和能力去开拓更大的事业。

下面就和我一起开启在家中的产品制造之旅吧。



# 第1章
# 产品制造的基础知识及3D打印机简介

本章将介绍产品制造业的现状、产品制造和3D打印机的基础知识。产品制造一词，实际上涵盖了多层意思。通过本章的介绍，相信读者能够进一步了解个人进行产品制造所需的基础知识。

第1章

# 1.1 产品制造的基础知识

日本以工业立国。从经济快速发展时期开始直至今日，可以说无论是制造高大上还是小而精的产品，日本的制造业在汽车、家电、工程机械、精密仪器、大型工程等诸多领域，无不大展拳脚。而且在这些制造企业的下游，还配套有很多生产各种零件和进行各种加工的中小企业群。

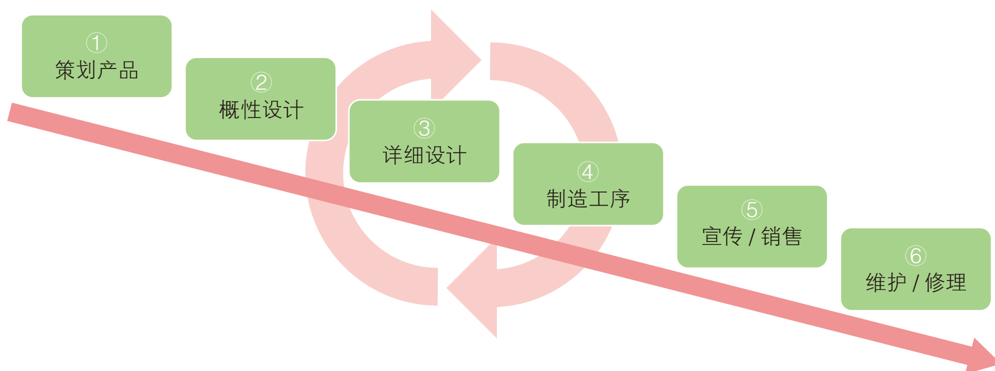
尽管如此，大多非业内人士仍旧不知道自己使用的产品是什么样的人如何开发和生产出来的，所以这里先简单介绍一下产品制造的大体流程。通过这样的梳理，可以推知现今个人及小规模组织为何也能成为“制造商”。

## 1.1.1 产品制造（产品开发）的基本流程

产品制造（产品开发）的基本流程为：①策划产品的基本理念；②进行概念设计；③进行细节零件层面的详细设计；④将设计转化成实物前的一系列准备。如果所生产的产品是用于销售的，那么这个流程还没有结束。⑤市场调查及宣传，⑥随后的产品售后服务等，直至产品使用终结并废弃的所有流程都需要在产品开发阶段考虑清楚。如果是个人设计、制造自用品，想要长久使用的话，也需要将维护和修理等问题考虑进去。

综上所述，产品制造（产品开发）的流程如下图所示。

图 产品制造（产品开发）的流程




虽然有从策划到制造的大体制作流程，但产品制造并非按照这个流程就会一帆风顺。3D 数据毕竟是虚拟的，制作好的数据在现实世界中不一定是成立的，或许虽然形状上可以

成立但无法实际制造，也有可能虽然可以制造但由于成本过高而无法实施。

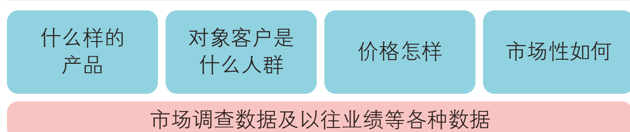
这些情况下，需要重新回到设计阶段再次设计，这个过程称为修改设计，可以说在实际的产品制造流程中会经常反复这个过程。

## ①产品策划

产品开发流程通常是从产品策划开始着手的，这项工作可能是由商品策划部门来完成的，也可能是由公司整体共同完成的。无论哪种形式，产品开发的流程都是以产品策划为起点的。这个阶段需要讨论清楚想要制造什么样的产品，以及对象人群、价格、市场性等一系列问题。一些大型企业还要通过市场调查数据等各种数据来验证该产品市场未来的发展性。

另一方面，这样完成的策划虽然可以回避风险、追求稳妥并减少失败，也就是说虽然可以使开发出来的商品在其附加价值和完整性上得到很大的提升，但很少能出现给市场带来惊喜的产品。在这种大环境下，即使出现了一些标新立异的创意，在严密的组织开发过程中可能还没能见到天日就被扼杀在摇篮之中了。

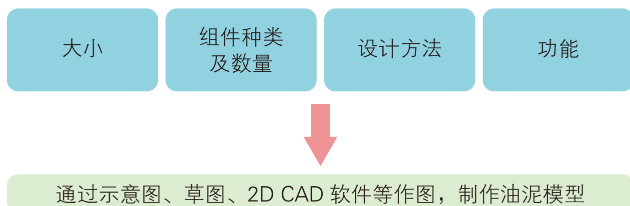
图 ■ 产品策划




## ②概念设计

确定策划方案后就可以开始实际的产品开发，这时需要分别确定产品的大小、组件装配及设计方法等。在这个阶段多使用示意图、草图或 2D CAD 软件，另外在汽车设计中还会使用黏土，根据设计师的草图制作实际大小的油泥模型。一些小型物品也经常采用制作出模型后再讨论的推进方式。也有的企业会从这个阶段就使用用于设计款式的 3D CAD 软件。

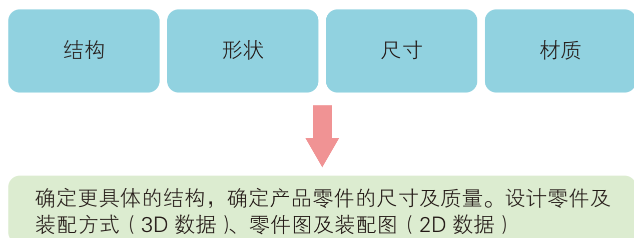
图 ■ 概念设计




## ③详细设计

在详细设计阶段开始工程性的设计作业，这个阶段更贴近一般人所理解的“设计”。这时会设计产品零件的细节及装配方式。

图 ■ 详细设计




现在的制造业中，汽车及大品牌家电企业的设计主流正在逐渐转向使用 3D CAD。虽然日本的制造工厂仍在广泛使用 2D CAD，但如果需要 3D 打印时则必须有 3D 数据（使用 3D CAD 制作的数据），2D 图纸无法直接用于 3D 打印机。而且，对于传统的切削加工和注塑成型[①]来说，如果可以提供 3D 数据则最快第二天就可以生产出成品。所以对于准备从事产品设计和产品制造的人来说，除了熟练掌握设计方面的基础知识之外，最好还要学会如何使用 3D CAD 来进行设计。

在这个阶段经常使用的工具还有进行模拟及解析的 CAE（Computer Aided Engineering）软件及用于管理设计数据的 PDM（Product Data Management）软件。

现在的产品很少是由纯机械零件组成的，大多需要结合电路或软件来实现功能，并且这些部分所占的比例也越来越大。所以为了完成最终的成品，还需要具备能够系统整合各种不同部分的能力。

① 关于切削加工和注塑成型的相应制造方法将在本书第 8 章中进一步介绍。



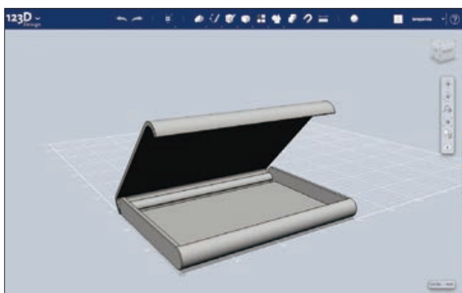
技术要点

## 3D CAD 数据与 2D CAD 数据的区别

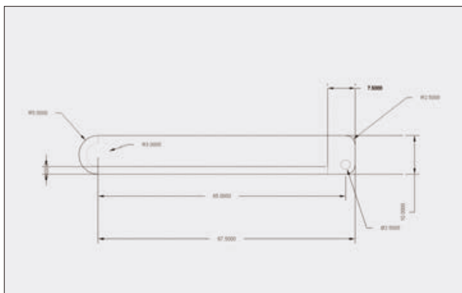
下面简单介绍一下前文提到的 3D CAD 和 2D CAD 两种设计工具（本书中使用的是 3D CAD）。

所谓的 3D CAD 就是用于制作三维数据的 CAD 软件，同理 2D CAD 就是用于制作二维数据的 CAD 软件，与二者相应的完成图如下所示（其中 2D CAD 的数据仅为整体设计的一部分）。通常将使用 3D CAD 做成的数据称为 3D 数据，而将使用 2D CAD 做成的数据称为设计图纸。

图 3D CAD 数据与 2D CAD 数据的区别



3D CAD 的数据



2D CAD 的数据

可以说 3D 设计是在假想空间中直接完成整体形态的设计。与此相比，2D 的设计图纸则只能算是一份表达需求的指示书。2D 设计图纸中虽然有三视图、扩大图、截面图，但终究达不到整体可视效果，视角总会有一定的限制。那么，一些图上没有显示出来的地方到底该如何处理呢？这就需要由具体制造的人来补充完整。正是在这个补充过程的优秀表现，使日本制造业在世界上站稳了脚跟。

反之，3D 的设计需要设计人员从始至终亲自把握设计的每一个细节，不仅要画出重点的部分，其他细微的地方也都要明确标出。虽然这样做造成了 3D 设计比 2D 设计更加耗时，但可以避免沟通理解方面的偏差，使设计者的意图可以完全贯彻到所有工序。而且，设计人员还可以通过各种形式借用已经做好的 3D 数据以提高工作效率。综合这些因素，3D CAD 很可能成为今后设计的主流工具。

专栏



### 3D CAD 与 2D CAD 普及率的差异

前面的内容中虽然提到了 3D CAD 可能成为今后设计的主流工具，但实际上在 3D CAD 普及率方面，各个国家之间存在着很大的差异。在欧美的制造业中，3D CAD 得到了广泛的普及，但在日本大多数还是在使用 2D CAD。现在如果委托工厂加工产品，很多工厂还是以二维图纸为依据来承接项目，而且其中一些工厂仅接受二维图纸。

现在，有些日本大型企业以国际化合作为契机也开始正式转向 3D CAD，因此也可以说，现在的日本制造业正从以 2D 为主的状态过渡到以 3D 为主的状态。※

※ 中国目前的状况和日本相似。——译者注

## ④制造工序

完成详细设计后就要进入制造工序了。说起来简单的制造工序实际上包含很多种制造方法。例如使用切削加工来制造需求量比较少的精密零件，使用钣金加工将薄的金属板做成箱形。关于钣金加工，在使用 3D CAD 设计箱型结构的数据时可以用钣金展开的功能来进行放样设计，用激光切割出外形后再弯曲成为箱型。

汽车的车体是用冲压成型的方法制造出来的。这种方法使用冲压模具通过对金属板施压而成型。

卡通形象、模型或小物品等树脂产品则是使用注塑成型的方法，即将树脂从模具开口处注入模具中从而制成产品的方法。让液态材料流入模具是很古老的方法，类似的还有让熔融的金属流入砂型来制造产品，这种方法称为铸造，汽车引擎等就是通过铸造制成的。

本书介绍的 3D 打印也是制造方法之一。下一节中将详细解说 3D 打印，这种方法不需要特别专门的经验，甚至可以在自己家里轻松制造出树脂产品，因此近年来备受瞩目。

提示

关于上述除 3D 打印以外的制造方法，本书在第 8 章中还将进一步说明。本书的内容以 3D 打印的产品制造为主线，因此在实际应用其他制造方法时，除了本书介绍的内容，可能会需要更加深入的知识。但如果想要积累成为个人制造商必备的知识，也可以先通过本书初步了解这一部分的概况。

### 试制和批量生产

汽车、家电等批量产品的制造分为试制和批量生产两类。

试制的目的是验证产品本身是否完全体现了最初的设计意图，如果在这个阶段遇到问题有可能会回到设计阶段重新修改。另外，通过试制还可能会发现制造过程中存在的问题。

顾名思义，批量生产就是大量生产产品。即使是生产同一产品，也经常会出现试制和

批量生产所采用的制造方法完全不同的情况，例如试制用切削加工或是 3D 打印来完成，而批量生产则使用模具通过注塑成型来完成。

## ⑤宣传/销售

无论多么好的产品，如果不为人所知也不太可能畅销，因此需要对产品进行宣传。宣传就是为提高产品的知名度所做的努力，以及为了让产品具有一定知名度后能够顺利销售出去而做的一系列工作。从更大的范围来看，宣传也是销售的一个环节，这一环节主要分为如下两部分。

### 面向潜在客户提高产品知名度

首先，要让潜在的客户群知道我们的产品并产生购买意愿，为此需要开展各种各样的宣传策略。

宣传方法有很多种，近期利用社交媒体开展宣传攻势的也不在少数，当然传统媒体的作用也不容忽视。小规模制造商擅长使用各种宣传方式，例如在平面媒体上下足功夫，或是利用与目标客户群紧密联系的杂志或电视等来提高自己产品的知名度。

### 营销活动

然后，为了让有购买意愿的客户实际购买产品，还需要进行营销活动。需要建立一个营销体系，充分运用客户的购买欲望使客户能顺利地买到心仪的东西。如果有代理店，可以把面向最终客户的销售交给代理店来完成，但是对于小规模制造商来说这些活动需要自己来进行。

还需要考虑实际的销售渠道是仅在网上销售还是批发给代理店，而且还要在最初的阶段计算好销售价格和自己的利润率。作为一个制造商有责任在事前把这些事项考虑清楚。

虽然只做宣传和营销是本末倒置的，但无论制造的产品有多么好，如果不在营销上下功夫也很难成为一名真正的制造商，所以作为一名制造商除了做好产品以外也要开展宣传、营销等工作。

## ⑥维护/修理

产品并不是卖出去就算完成任务了，甚至可以说产品在交到最终用户手中时它才真正开始实现价值。而且每件产品都会有长时间使用后出现问题的情况或是有定期更换维护的要求。通常大企业的做法是在产品售出后的几年里供应更换备件，受理维修请求，或是在出现问题时提供免费修理等售后服务，这就是维护 / 修理阶段。

无论是什么样的产品，卖出去之后都需要维护和修理，所以产品制造也包含这一过程。不能因为是个人或是小规模的制造商就只有销售环节而没有售后服务。

即使只是给自己做的用品，也同样希望坏了以后能尽量修理而不是直接扔掉吧。为此，需要在产品的设计阶段就把制造后的维护和修理环节考虑进去。

## 1.1.2　备受瞩目的个人产品制造



目前，个人或小规模制造商进行的个人产品制造备受瞩目，因此上述传统的制造流程也发生了变化，下面从三个方面分析这些变化。

### 软件的普及

现在有很多高科技产品都逐渐降低其价格并不断普及，而用于产品制造的 CAD 和 CG 软件也在其中。例如就 3D CAD 软件而言，前几年市面上还完全没有廉价的 CAD 软件，而近两年，虽然专业 CAD 软件的价格仍然保持在 60 万日元（约合人民币 3.6 万元）以上，但已经开始出现了可以轻松使用的初级设计软件，本书所讲解的 123D Design 就是其中一例。

无论 3D 打印机之类的产品制造设备怎么普及，如果作为其核心的模型数据无法顺利完成也还是很难真正应用起来。所以 123D Design 这类软件的面世，对于入门者学习建模来说具有非常重要的意义。

现在已经有了小学生也可以轻松建模的软件环境，所以笔者认为今后将会有更多的人来参与产品制造。放眼世界，已经有越来越多的人借助便宜又易用的软件轻松参与到产品设计和制造行业中了。

### 制造环境的变化

我们可以从两个角度分析制造环境的变化。其一是制造方法的多样化。如前所述，传统的制造方法（如冲压成型、注塑成型等）中并不包括 3D 打印。尽管 3D 打印机本身在 20 世纪 90 年代就开始实际应用于制造业，但一直都是只有专业人员才能使用的设备。而且，对于传统方法来讲，如果想要制造产品，至少需要一些专业的制图知识。

但是，随着 3D 打印机这种易用型设备的普及和前面提到的相关软件的普及，产品制造领域也发生了变化，一些想法自由、不愿墨守成规的人们也可以参与其中，自由自在地实现他们非常独特的创意。

其二是制造业商业模式的变化。近几年，原本主要承接大企业订单的中小型企业发生了不小的变化。经济危机发生前，这些企业只靠大企业的批量订单就忙得不可开交，无暇顾及小批量的生产需求。但经济危机之后来自大企业的订单明显减少，这些制造企业就不得不自寻出路，有的着手开发自己的产品，有的开始承接小批量的订单。在这样的背景下，一些个人设计的产品也得以零星生产出来。一些原本个人无力购买并设置的切削加工机和注塑成型设备也开始用于私人性的产品制造，为个人产品制造提供了新的发展空间。

今后制造环境也会不断发展。例如，目前在切削加工和注塑成型领域已经出现了一些企业，可以在网上受理 3D 数据的订单，使用大型计算机进行数据模拟，在几小时内即可确定项目的预算并针对产品的可制造性提出建议。今后随着信息技术的不断发展，各个制造阶段的水平也将不断提高且会有更多的过程实现自动化。

在制造环境日新月异的今天，3D 数据越来越成为不可忽视的重要一环。无论是企业还

是个人，只要拥有 3D 数据就可以委托专业的机构来完成制造，无论是制造成本方面还是生产周期方面都比以往增加了很大的选择空间。在本章的后半部分将介绍一些提供 3D 打印服务的企业及提供切削加工服务的企业，如果选择这些服务，则无需购进高价的机器设备就可以开始在家进行产品制造了。

## 消费者需求的变化

以往是以发达国家为中心产生大量的生产和消费，但这样的消费趋势已经开始发生变化。现在的消费者已经开始逐渐追求个性化消费，只愿意为自己中意的东西买单。虽然 iPhone 在全世界销售了非常多的同款手机，但对于其他款智能手机来说，即使是大企业的机型，每款的生产量也都比以往大幅减少了。而且，每件产品的生命周期也缩短了很多。

但一些个性化的产品注定不可能大量销售，所以必须针对相应的消费群体进行小批量的生产。可以灵活应对这样需求的通常是一个人或是几个人运营的、从事私人产品制造的小公司。正是因为它们没有大规模的生产制度，使得生产小批量产品也同样可以盈利。之前提过的软件环境和制造环境方面的变化也为这样的模式提供了便利条件。

动辄几万个一批的产品对于大企业来说也不是个轻易可以销售掉的数目，但对于很多个人公司来说，100 个、1 000 个则是可以挑战一下的数目。而且现在可以销售产品的购物网站越来越多[①]，语言差异已经不再是产品宣传的关键障碍，所以即使是个人也可以面向世界销售自己的产品。



① 在本书 7.2.1 节中介绍了一些具有代表性的、可以销售自制产品的网站，以供读者参考。

第1章

# 1.2 在家开始制造产品的方法

本书之前的内容中介绍了当今社会上掀起的产品制造的热潮，前一节中也对传统的产品制造流程进行了简单介绍。读到这里，想来已经有人摩拳擦掌想要做点什么，或者想要制造一些独创的产品然后试着销售了吧。下面就介绍在家开始制造产品的具体方法。在开始阶段不需要额外的投资，只要有电脑就可以了。

## 1.2.1 在家制造产品所需的准备

自己或是几个人一起开始制造产品时，首先只需要 3D CAD 或是 3D CG 之类的 3D 建模工具（软件），掌握了使用这些软件进行设计制造的相关知识就可以开始制造产品了。如果想要将设计的作品作为商品销售或是需要经常制作试制品，则可以根据需要购置 3D 打印机及其他相关的设备。

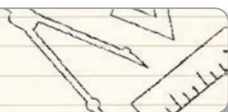
- **在家中制造产品的最初阶段只需要准备3D建模工具(可以找到免费的版本)**
- **最初阶段借助3D打印服务的话成本比较低**
- **制作流程顺畅以后可以考虑购置3D打印机**

如前所述，只要有 3D 数据，就可以选择很多现成的服务根据数据打印出成品来，虽然每个成品的打印费用要比使用自己专属打印机耗费的单位成本高一些，但成品只要不是非常大，即便借助打印服务每个也只需要几千日元（1 000 日元约合人民币 60 元），还是相当方便划算的。而且只要拥有 3D 数据，不仅是 3D 打印，还可以根据成品的目的和用途自由选择切削加工或是注塑加工等其他服务。

在某种程度上熟练掌握 3D CAD 后就可以考虑购买 3D 打印机。现在有很多面向产品制造爱好者的低价机型，可以比较各种机型的特点选购最适合打印自己产品的设备。

> 提示
> 关于面向个人提供切削加工及注塑成型服务的具体情况将在本书第 8 章中介绍。

## 1.2.2 在家制造产品必备的知识



在家开始制造产品所需的工具只有 3D 建模工具，但为了使设计出来的成品能够长久使用或用于销售，还需要具备下面这些知识。

### 使用 3D 建模工具进行设计的知识

我们在开始制造产品前，当然需要有相应的作品创意，但是如果无法把创意落实成第三人或是机器可以理解的形式，那么创意将永远无法转化成实物，所以如果我们要制造产品就必须具备使用 3D 建模工具进行设计的相关知识。现在有很多种 3D 建模工具，虽然根据设计对象的形状和用途需要选择不同的软件环境，但无论何种软件环境都需要使用 3D 建模工具来进行设计。本书将以此为重点详细解说 3D 建模的方法，请读者跟着本书的说明一边练习、一边学习基础知识。

本书以下章节将对上述内容进行深入说明。


- 3D 建模工具的基础知识及种类：1.3 节
- 使用 3D 建模工具进行 3D 建模的基础知识：2.1 节


### 3D 打印机及其他制造设备的知识

为了成为个人制造商，除了 3D 建模工具的知识外，还需要了解 3D 打印机及其他制造设备的相关知识。而且仅 3D 打印机就有很多种类型，所使用的材料和打印出来的成品也因机型不同而有很大的差别，所以我们在实际生产产品时需要根据自己制作的产品属性来选择相应的机型。另外，非 3D 打印的其他制造方式也是真正的个人制造商必须要了解的行业知识。

从极端角度讲，3D 建模工具什么都可以做，但如果考虑物理上是否成立的问题，就另当别论了。例如过于精细的造型，3D 打印机就可能无法精确呈现。也就是说为了能有效地将电脑上的虚拟效果移植到现实中，还需要具备物理实现的相关知识。

我们在利用 3D 打印机制造产品时不一定要拥有自己专属的 3D 打印机，可以充分利用各种企业提供的打印服务。而且如果我们能熟悉各种打印服务，还可以拓展自己的制造范围，根据设计选择形状、材料最适合的打印服务，从而更高效地生产产品。

本书以下章节将深入分析这些问题。


- 3D 打印机的基础知识和主要类型：1.4 节
- 3D 打印服务：7.2 节
- 非 3D 打印的其他制造方法：第 8 章


### 材料的相关知识

为了制造现实的产品，必须要了解所用材料的相关知识。如果所选的材料与设计的厚度不匹配，则可能出现打印出的成品马上就损坏了的情况。

例如 ABS 树脂具备一定的强度和韧性，非常适合制作机械零件的试制品。但是对应这种材料的 3D 打印机机型却无法完成精细度比较高的成品。当然没有哪种材料可以完全适应所有的要求，有的材料强度比较大但不容易成型，有的材料易于成型但造价很高，有的材料造价低廉但强度较弱等，各有长短之处，所以需要从中选择最适合自己产品的材料。

本书 1.6 节对材料进行了比较详细的分析。




截至笔者执笔时，各种 3D 打印机机型可以使用的材料基本是固定的，所以可以说选择了机型（打印方式）就相当于选择了材料。因此，理解 3D 打印机相关知识时可以将机型（打印方式）的特点和材料的特点结合起来。

专栏

### 丰富的知识储备

如果只是作为爱好者制作饰品之类的小东西，只掌握前面提到的知识基本就可以了。但如果准备进行真正的产品开发，除了机械设计以外，可能还需要电气设计及软件设计方面的能力。

本书将着重介绍设备零件和外部机框的制作，但如果想要制作电子设备等则需要具备设计其内部电路板等的能力。即使是使用现成的电路板，也需要具备一定程度的相关知识。所以对于实际想要制造的产品，我们应该事先考虑自己需要具备哪些方面的能力，或是必须借助哪些领域专业人员的力量才能完成等问题。

有些领域的产品销售还需要行业的认证，这种情况下，有些产品就需要进行耐久性测试等。此外，还需要了解有关产品责任等相关知识。

当然这些不需要一下子就了解清楚，最重要的还是先用 3D CAD 开始进行设计，如果想要在此基础上更上一层楼，再去逐渐积累各种知识就可以了。

第1章

# 1.3 什么是3D建模工具

前面提到我们开始制造产品时必须先使用 3D 建模工具，实际上 3D 建模工具也有很多种类。下面将分类介绍几种 3D 建模工具的特点和代表性软件。

现在的建模工具大体分为多边形建模、曲面建模、实体建模这几种类型。

> 提示
> 本书在众多建模工具中挑选了 Autodesk 公司提供的 123D Design 这种实体建模工具，对其使用方法进行详细介绍。想要马上开始学习 3D 建模的读者，可以直接从下一章读起。

## 1.3.1 多边形建模工具（3D CG）

多边形建模工具（3D CG）是指使用被称作多边形[①]的三角形小单元的集合体来展现 3D 形状（立体）的建模工具。该工具主要用于制作影像或图像中的 CG（Computer Graphics）。

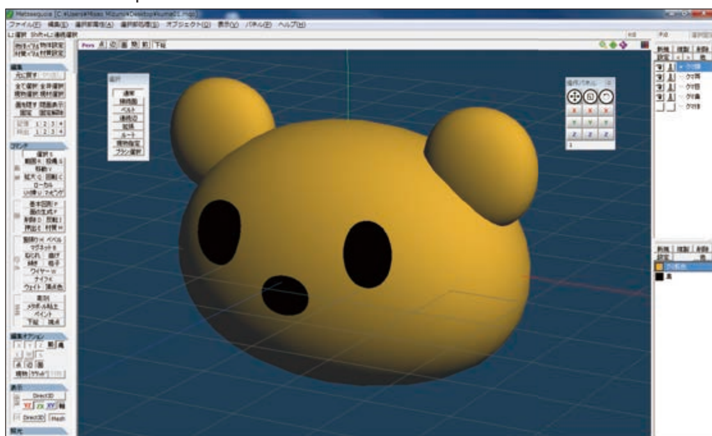
这种多边形建模工具中形状变换的单位是多边形，非常适合卡通形象这种无法定义具体数值且具有灵活形状的建模。但由于形状的表现形式是多边形，所以无论把多边形的精度定义得多么高，也终究是不够缜密的。因此，这种方式无法满足工学上按尺寸建模的需求，也可以说这种建模方式不适合用于工业产品设计。细分起来，多边形建模工具还可以分为以下类型。

- **仅在多边形的顶点编辑形状的类型**
- **追加了矢量信息以便能够使用较少的多边形设计出流畅效果的类型**

多边形建模工具的代表性软件有 Metasequoia、3ds Max、Maya 等。

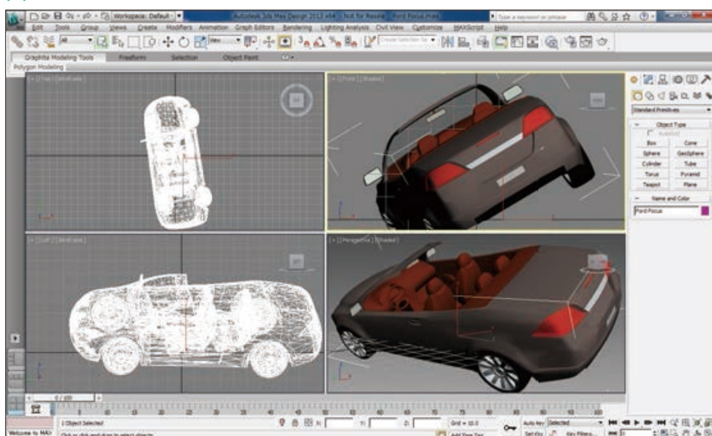
① 关于这个多边形方式的具体描述，可以参考本书 2.1.2 节的内容。

图 ■ Metasequoia



URL www.metaseq.net/metaseq/

图 ■ 3ds Max



URL www.autodesk.co.jp/max/

> **提示**
>
> 3ds Max 及 Maya 等高端多边形建模工具中也有搭载了样条曲线建模工具的类型，使用这一部分工具就可以利用样条曲线来定义形状。使用样条曲线建模虽然便于工业产品的设计，但这种模式下很难进行灵活形状的建模。

## 1.3.2　曲面建模工具

曲面建模工具是指通过数学上 NURBS（Non-Uniform Rational B Spline，非均匀有理 B 样条曲线）面[①]的信息来定义曲面、实现建模的工具。使用这种建模工具可以实现准确的形状，所以多用于汽车车体建模等需要高精度曲面的情况。另外对于比较注重外观的产

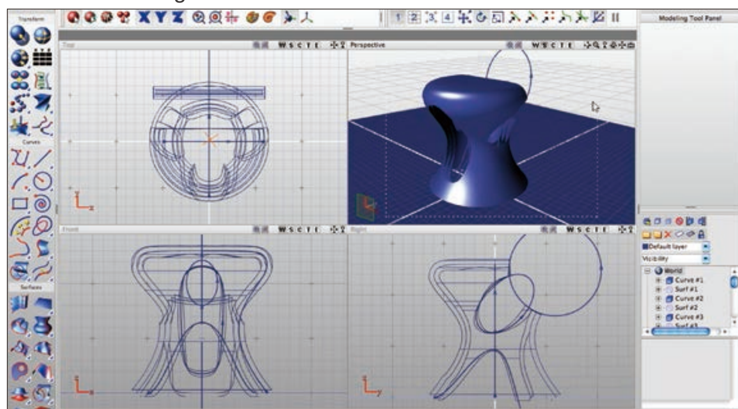
① 关于面（surface）的具体描述可以参考本书 2.1.2 节的内容。

品，该工具还提供了多种曲面的建模选项，所以也受到了很多偏重外观创意的工业设计师的欢迎。

但曲面建模工具终究只是用于设计“面”的工具（没有物理性的厚度等信息），无法实现机械零件的设计及装配。

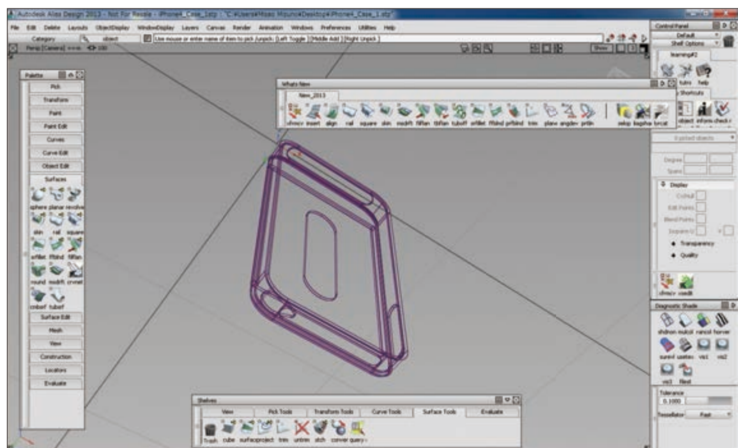
采用这种方式的建模工具从非常高价的到比较廉价的都有，在尚未出现免费或低价建模工具的年代，售价约为 14 万日元（约合人民币 8 400 元）的 Rhinoceros 工具是专业 3D 建模唯一的选择。现在也有很多个人工业设计师在使用这个工具。此外，还有 solid Thinking、Autodesk Alias 等工具。

图 solidThinking



URL www.solidthinking.com/

图 Autodesk Alias



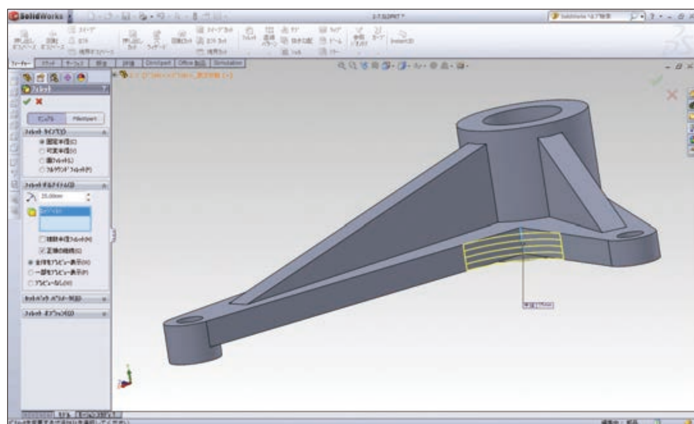
URL www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/pc/index?siteID=1169823&id=14537727

### 1.3.3 实体建模工具

实体建模工具是指通过数学意义上的几何数据和位相数据展现三维形状定义的建模工具[①]。通常将曲面建模工具和实体建模工具统称为 3D CAD。

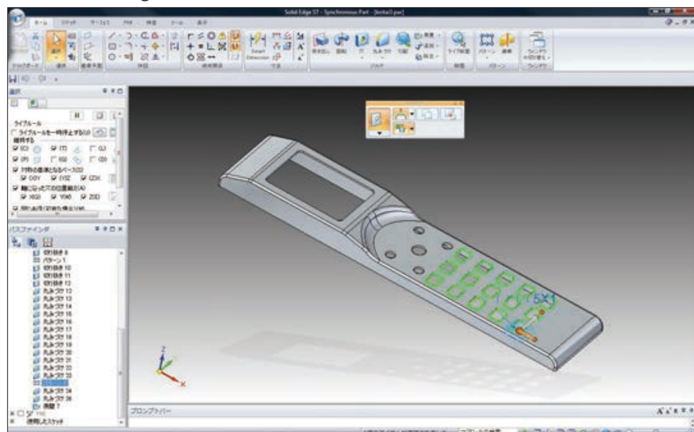
实体建模工具主要用于工业产品的开发，从汽车到家电，大多数产品都是用实体建模工具进行开发的。实体建模工具也含有非常丰富的种类，其中主要面向汽车公司的高端工具售价超过几百万日元（100 万日元约合人民币 6 万元），还有很多专门用于开发家电产品和产业设备的经济型工具，另外还有 Autodesk 公司的 123D Design 这种免费的实体建模工具。近年来还面世了一种叫做 Moi3D 的工具，这款软件虽然是收费的，但是价格并不贵，日文版价格为 35 000 日元（约合人民币 2 100 元），业余爱好者也能轻松购买并使用。

图 Solidworks



URL www.solidworks.co.jp

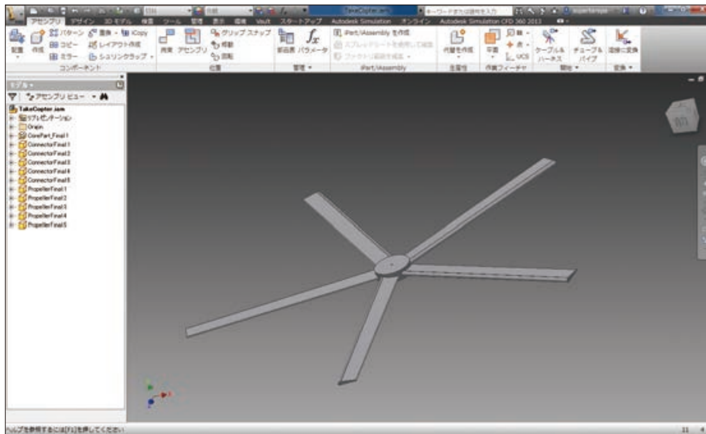
图 Solid Edge



URL www.plm.automation.siemens.com/ja_jp/products/velocity/solidedge/

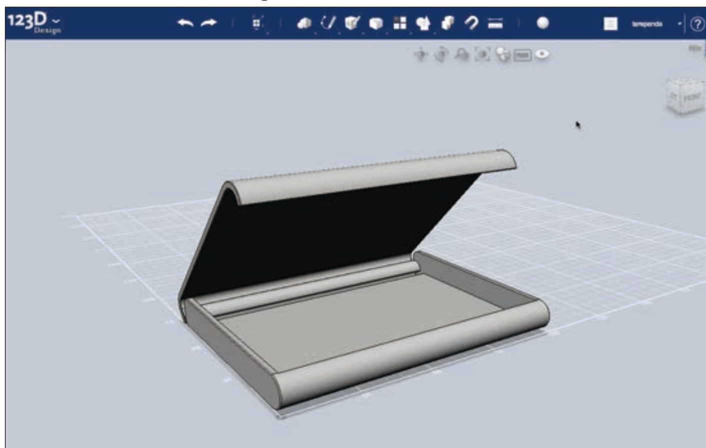
① 关于实体的具体描述可以参见本书 2.1.2 节的内容。

图 ■ Autodesk Inventor



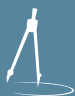
URL www.autodesk.co.jp/products/autodesk-inventor-family/overview

图 ■ Autodesk 123D Design




URL www.123dapp.com/design

如上所述，每种建模工具都各有特点，可以根据产品的特性选择不同的 3D 建模工具。如果是设计外观漂亮的非工业品可以使用以多边形为单位的多边形建模工具（3D CG），如果需要设计工业零件则要使用基于实体的 3D CAD 建模工具。

技术要点 

## 3D CAD与3D CG的区别

3D CAD 与 3D CG 并没有非常明确的区别，但从大体上进行区分的话则有以下两点不同。

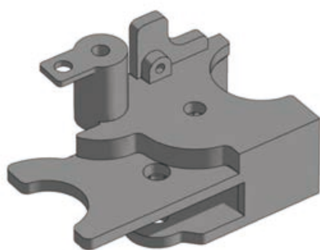
- **3D CAD是制作有明确尺寸的三维形状的软件工具**
- **3D CG是制作没有明确尺寸的三维形状的软件工具**

因此，通常 CAD（Computer Aided Design）用于工业产品或建筑物等需要定义明确尺寸的情况。另外，由 CAD 制作的形状只能算是半成品，而成品是具有物理特性的实际物体（根据 CAD 数据生产产品或是建造建筑物）。

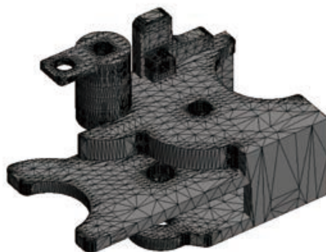
而 CG（Computer Graphics）多用于制作静态画面或动画，即多用于制作图像。制作图像虽然不需要像工业产品或建筑物那样追求形状的高精确度，但在需要展现无法定义尺寸的、灵活的曲面效果时，CG 比 CAD 更有优势，而且 CG 中使用的多边形方式还可以有效减轻计算机运算的负荷。

由此，在设计需要明确形状的产品时使用 3D CAD，在制作卡通或人物形象等丰富形态的作品时通常使用 3D CG 来完成。

图 3D CAD 和 3D CG 的区别



使用 CAD 展现的机械零件



使用 CG（多边形）展现的机械零件

第1章

# 1.4 什么是3D打印机

在最近的创客热潮中，3D 打印机可以说是其中的关键角色。对于那些热衷于制作的人来说，一份原本只能看得见的 3D 数据可以在自己眼前变成摸得到的成品，这个过程简直太吸引人了。现在各种媒体都在谈论 3D 打印机，很多人对这方面已经有了初步了解，不过 3D 打印机也分为不同的类型，本节就简单说明下 3D 打印机的几种类型和结构。

## 1.4.1 使用 3D 打印机成型的基础知识

3D 打印机是采用叠加材料的方法制作成品的机器设备，有几种不同的成型方式，但无论哪种方式，都是通过叠加薄型层面材料的方法来实现的。这就像是把条状的陶泥一层一层盘起来做成绳纹陶器，或是将卷筒冰激凌不断加高时的感觉。3D 打印就是将厚度控制在 0.1mm 或是更薄的层面材料，逐层叠加起来制成立体物品的过程。

这样说来，似乎 3D 打印机就只有熔融树脂沉积这一种方式了，但实际上，还有向装有熔融树脂的容器（池）中打光固化薄层材料的方式，以及在此基础上增加其他层面来做出成品的方式。 这些方式虽然看似没有明显的材料叠加过程，但实际上其成型的方法都是一样的。另外还有一种方式是使用激光烧结树脂粉末来制作成品，这种方式实际上也是以叠加层为单位来实现的。

图 3D 打印机成型示意图

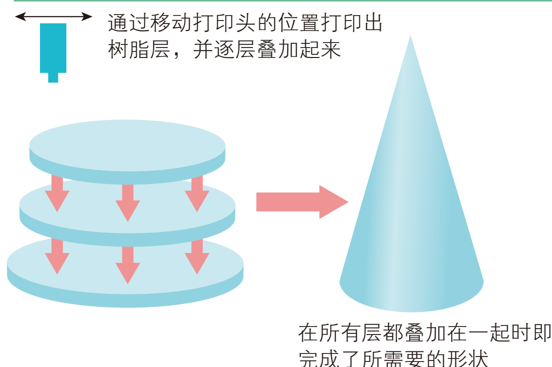
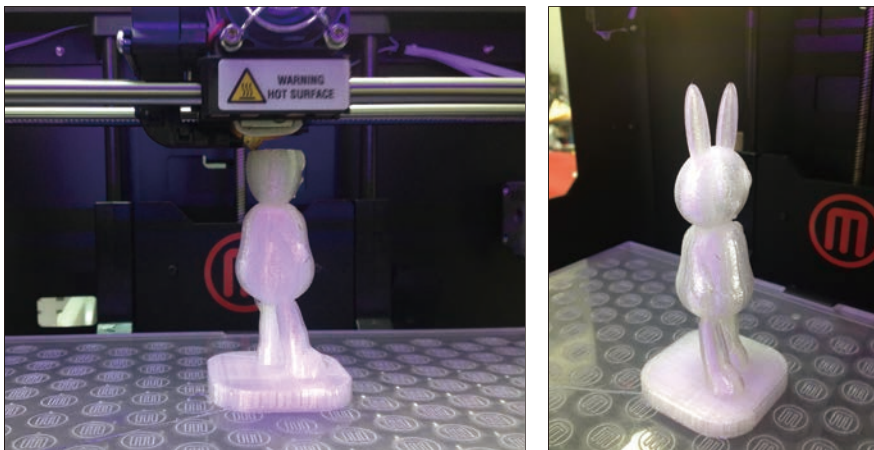


图 ■ 3D 打印机立体成型




上图为笔者在使用自己的 3D 打印机打印本书第 6 章中介绍的卡通形象时拍摄的照片，其中左图为成型过程中的状态，右图是完成后的状态。

## 3D打印机的主要成型方式

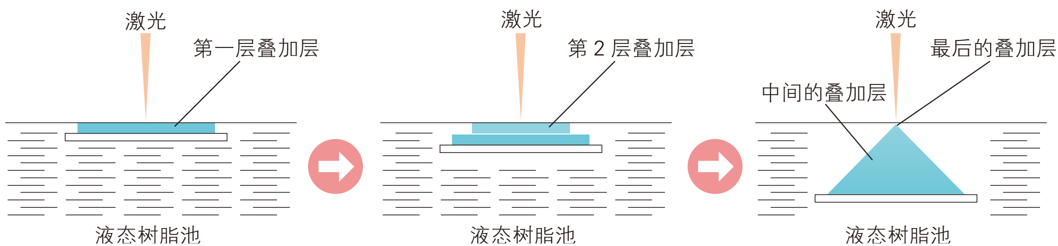
下面简单介绍下 3D 打印机的主要成型方式。看了之前的内容，大家应该已经了解到 3D 打印有很多种不同方式。如前所述，现在的 3D 打印机通常只能使用其厂商指定的材料，而且我们还需要知道各种打印方式的实际成品状态是有所不同的，这样在准备打印自己的数据时就自然能够准确地选择适合自己的打印服务或是选购合适的机型了。

### 光固化成型法

光固化成型法是指向光敏树脂池（熔融树脂容器）照射紫外线，使被照射部分的树脂固化，同时逐渐叠加固化的树脂层来成型的方式。这是最早的成型方式之一，通常被昂贵的工业 3D 打印机所采用。但这种方式中使用的原料液态聚合物对人体有毒，操作时需要格外小心。

另外，也有的机型不使用紫外线而利用可见光实现固化过程。

图 ■ 光固化成型法

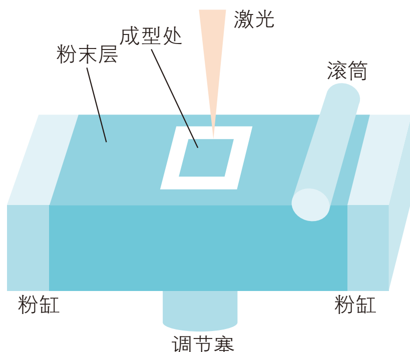



光固化成型可以实现复杂且精细的造型，成品的表面也相对光滑。但是，由于使用了紫外线光敏树脂，故在阳光照射下也会不断硬化，经过一段时间后成品就会变形且易损，不适宜长时间使用。

### 粉末烧结法

光敏成型法的材料是液态的，而粉末烧结法所用材料的初始状态是粉末状的，也可以说这是用粉末缸替代了液态树脂池的成型方式。这种方式通常是用激光照射尼龙树脂等材料烧结成型。

图 ■ 粉末烧结法




粉末烧结法的成品表面比较粗糙，但比较结实，如果对成品的外观没有特殊要求，例如在设备内部使用的零件等，做好后就可以直接使用了。

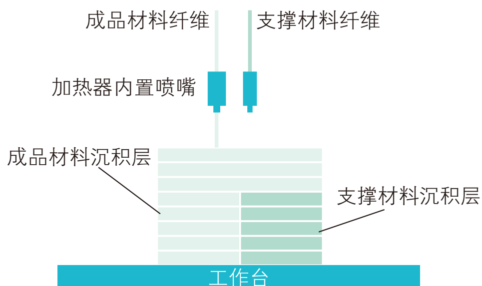
若原料是尼龙粉末，还可以做成厚度小于 1mm 的薄片成品，并且还具备一定的耐弯折强度，因此被广泛应用于制作 iPhone 外壳和手机配件等领域。但是，这种方式的成品表面比较粗糙，无法满足表面平滑的需求。

### 热熔融树脂沉积法

热熔融树脂沉积法是指在高温下熔融树脂并同时将其以细丝的形式输出来完成指定形状的成型方式。这是现在最为广泛使用的 3D 打印方式，无论是用于工业生产的打印机，还是面向个人用户的打印机，都有采用这种方式的机型。

其材料除白色细丝外还有其他颜色（各种机型可使用的颜色种类不同），因而在成型阶段就可以给成品做出带颜色的效果。

图 ■ 热熔融树脂沉积法




这种成型方式相比其他方式来说叠加层的单位（每一层的厚度）比较大，所以多数情况

下分层清晰可见，但另一方面其处理也相对简单一些，综合来说这种方式不可能做出像饰品那样的精细造型和光泽效果。

专栏



### ABS 树脂与 PLA 树脂

虽然热熔树脂沉积法通常使用 ABS 树脂，但个人 3D 打印中也有使用 PLA 树脂的专用机型。关于二者的区别，Wikipedia①上的说明比较易懂，如下为引用内容。如果需要更多的详细信息，可以参考相关网页或专业书籍等。

> ABS 树脂是丙烯腈（Acrylonitrile）、1,3- 丁二烯（Butadiene）、苯乙烯（Styrene）的共聚物树脂的总称，具备热可塑性，在常温下为微黄色固体，在刚性、硬度、可加工性、抗冲击性、弯曲疲劳性等机械特性方面非常均衡，具备很好的加工流动性，适用于较薄物品的成型。

资料来源：摘选自 Wikipedia 中的 ABS 树脂词条。

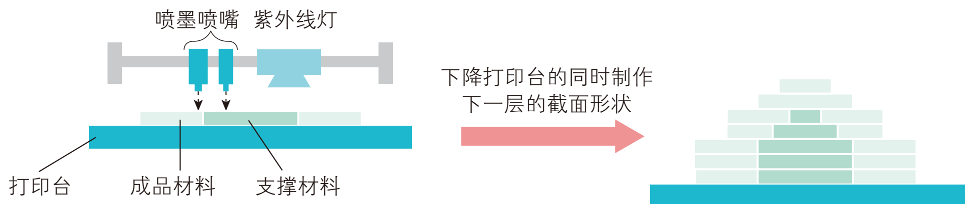
> 聚乳酸（PLA，polylactic acid 或 polylactide）是由乳酸分子脱水缩合而成的长链高分子聚合物，属于聚酯家族，因为由可再生的农业资源制成所以备受瞩目。

资料来源：摘选自 Wikipedia 中的聚乳酸词条。

#### 喷墨方式

在工业打印机中，喷墨方式也非常普遍。这种方式看起来与在纸面上打印区别不大，实际上却是喷涂树脂层后通过重复紫外线固化的过程来进行叠加的。这种方式的材料通常使用光敏树脂，最常用的是丙烯酸类树脂。

图 ■ 喷墨方式




这种方式可以完成比较精细的造型，但是丙烯酸类树脂没有 ABS 树脂的黏性大，所以如果是厚度比较小的成品则比较容易发生折损。不过，如果是售价超过 1 000 万日元（约合人民币 60 万元）的高端机型，可以选择使用 ABSlike、橡胶 like、聚丙烯 like 等材料黏性较好的材料（所谓的 like，严格意义上讲并不是某种材料的正式名称，而是指与这种材料的

① 下文中引用的皆为日文版 Wikipedia 中的内容。——译者注

材质相似的意思）。

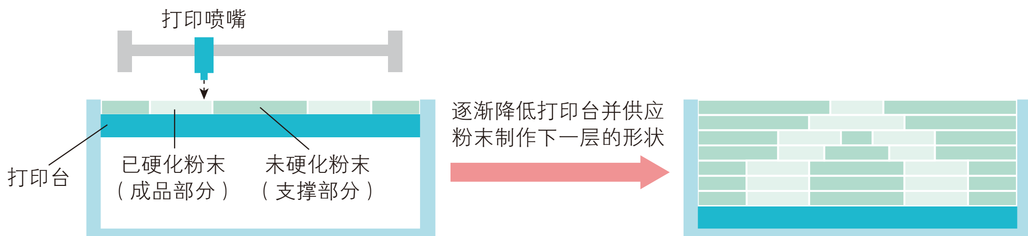
但这种成型方式所使用的材料都是紫外线光敏树脂，在阳光下会继续硬化，时间长了以后会发生变形，所以不适合用于打印需要长时间使用的物品。

### 利用树脂固定石膏粉末的叠加成型法

最后介绍使用石膏粉末的方式。基本材料是石膏粉末，每层粉末使用黏合剂固定后形成叠加层。现在市面上可以表面着色的只有这种打印方式。其他带颜色的方式都是树脂本身的颜色，也就是说使用红色的树脂就打印出红色的成品，而不是后期把颜色涂上去，打印卡通玩具或是各种模型通常需要自己在打印成品上涂颜色。

而采用这种方式的 ZPrinter（参见本书 1.5.3 节的内容）机型可以通过 3D CG 等指定颜色或花纹，然后在打印过程中直接在立体成品上着色[①]。也就是说，这种方式的一大优点是可以使用 3D 打印机直接制造出已经涂好颜色的卡通玩具或模型等。

图 利用树脂固定石膏粉末的叠加成型法




现在采用这种方式的只有 ZPrinter 的 3D 打印机，这种方式主要是对应于需要直接输出 CG 定义的颜色这种情况。但是这种方式的成品强度没有其他方式的强度高，不适合制造日用品、机械零件等实用物品。



专栏

### 灵活运用家庭式 3D 打印机和公共打印服务

除了上述打印方式以外，还有借助树脂叠加纸张的方式等，但上述的五种类型基本已经涵盖了现在市面常见的打印方式。

其中面向个人的家庭式 3D 打印机除个别例外的机型，基本都是采用热熔融树脂沉积法，材料一般只限于 ABS 树脂或 PLA 树脂。

一些专业的 3D 打印设备可以处理上百种材料，所以如果希望使用热熔融树脂沉积法以外的方法，则可以考虑采用后文会介绍的公众打印服务（参见本书 7.2 节）等方式，使用这些服务时可以根据自己的产品选择适当的材料和打印方式。

① 使用与纸件喷墨打印相同的墨水着色。

# 1.5 3D打印机的主要机型

本书并非3D打印机的采购指南，所以不会详细描述各个机型，只是以常用的3D打印机为中心，简单介绍它们各自的特点及可用材料。

警告！

本节中对各种机型的分类为笔者的自行分类，不代表行业共识。

## 1.5.1 工业用3D打印机

工业用3D打印机是指20世纪90年代以后主要用于制造业试制产品等业务的3D打印机。原本并不将其称为3D打印机，以前使用这些设备的人们经常称它们为光固化成型或RP（Rapid Prototyping，快速成型）设备等。

价格至少要100万日元，高端机型甚至几千万日元（100万日元约合人民币6万元）。公共打印服务（参见本书7.2节）所使用的3D打印机基本也都是这种水平的设备。

造成这些3D打印机价格差别的因素主要是成品的大小、可使用的材料种类、叠加层单位（每层的厚度）的细致程度等。

如上节所述，工业用3D打印机包括采用光固化成型法、喷墨成型法、FDM（热熔融树脂沉积法）、利用树脂固定石膏法、粉末烧结法等各种方式的机型。其中采用如粉末烧结法等方式的打印机只存在几千万日元左右的高价机型。

销售这类打印机的企业主要有3D Systems公司、Stratasye公司、Envision Tec公司、Digitalwax公司、EOS公司、基恩士公司等（本书后面的内容中还会详细介绍）。

## 1.5.2 个人3D打印机

近年来个人3D打印机以迅雷不及掩耳之势吸引了大批人的目光，而个人3D打印机的迅速普也正是掀起3D打印热潮的原因之一。价格适中的3D打印机的面世，使原本没有接触过这个领域的普通大众也能轻松购买这类设备了。

价格上，便宜的5万~6万日元，贵的也不超过50万日元（1万日元约合人民币600

元）。成型方式大多是热熔融树脂沉积法，也有一些采用光固化成型法的机型。在成品大小上最大可以完成 30cm 左右的成品。

这类 3D 打印机的体积要比工业用的小很多，偏小的型号只有微波炉大小，便于放在桌子上或家里的空闲处。

生产这类打印机机的厂商主要有 Makerbot 公司、3D Systems 公司、Formlabs 公司、Solidoodle 公司、Hotproceed 公司等。

另外，以往只有日本的 Hotproceed 公司开发个人 3D 打印机，现在 Genkei.LLC 公司也在开发并销售名为 atom 3D printer 的套装机。



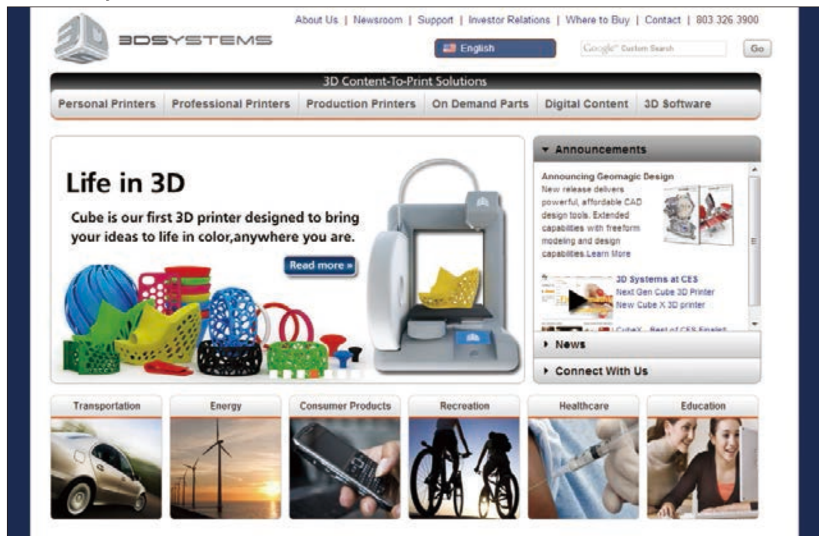
## 1.5.3 主要的 3D 打印机厂商及其机型

这里主要介绍市场上常见的机型。有些厂商有非常多的机型，因此只精选一部分进行介绍。

### 3D Systems公司

3D Systems 公司是美国生产 3D 打印机的大公司之一，自 20 世纪 90 年代起就开发并生产 3D 打印机了。以前以销售工业用 3D 打印机为主，现在也开始涉足个人 3D 打印机领域。

图 3D Systems 公司




URL www.3dsystems.com/

#### ProJet 系列

Projet 系列是将光敏树脂使用喷墨方式（3D Systems 公司将该方式称为多喷嘴塑型技

术）完成叠加过程的 3D 打印机系列。这个系列以 HD3500 为主流机型，并有低价的 HD1000 及高端的 HD5000 等多种机型。

HD3500 使用的是光敏丙烯酸树脂，不过也有根据成品需求可以使用蜡打印铸造蜡模的机型。

### ZPrinter 系列

ZPrinter 系列是唯一的彩色 3D 打印机（可以在 3D 打印的同时按照 3D 数据定义的颜色给成品着色）。该系列采用的是利用树脂固定石膏粉末的成型方式。根据成品的大小有 ZPrinter150 到 ZPrinter850 等各种型号。

图 ProJet 系列（左图）和 ZPrinter 系列（右图）



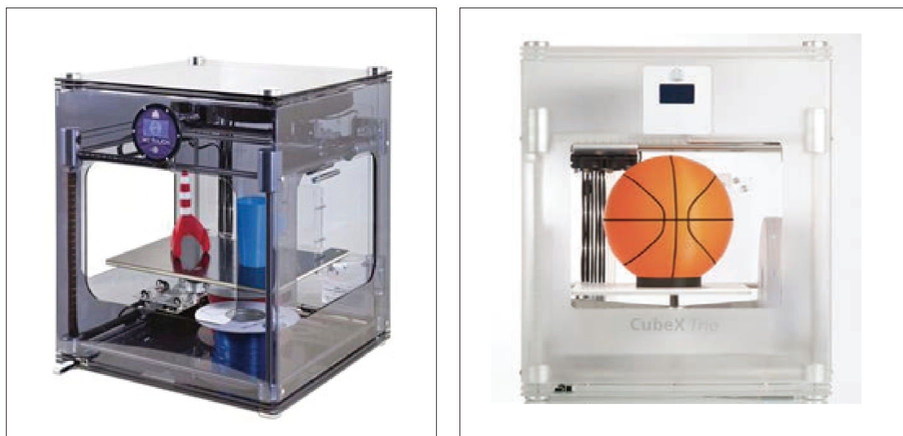
### 3D Touch

3D Touch 最初是右英国的 BFB 公司开发并销售的个人 3D 打印机，现在转由 3D Systems 旗下的公司销售。采用热熔融树脂沉积法，材料为 ABS 树脂或 PLA 树脂。在日本由 Systemcreate 公司及武藤工业公司等代理商销售。

### Cube/Cube X

Cube/Cube X 也是采用热熔融树脂沉积法的个人 3D 打印机。提供 ABS 树脂和 PLA 树脂两种材料。以前需要在网站上从美国购买，但在 2013 年 6 月，3D Systems 公司的代理商 Iguazu 公司和武藤工业公司宣布了开始销售 Cube X 的消息，具体销售价格在 39 万 8 000 日元～49 万 8 000 日元（约合人民币 2 万 4 000 元~3 万元）之间的 3 个机型。而且，自 2013 年 6 月起，Cube 也以 16 万日元（约合人民币 1 万元）的价格开始销售。

图 ■ 3D Touch（左图）和 Cube X（右图）

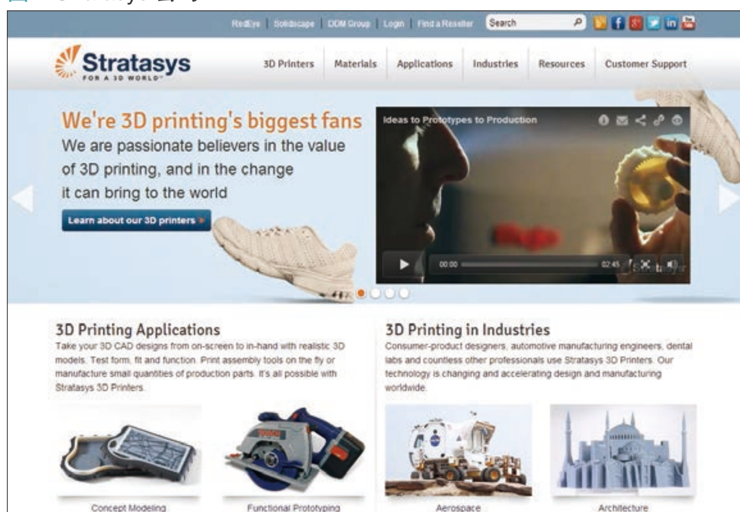


> **提示**
> 除上述产品外，3D Systems 公司还销售专业级 3D 打印机 SLA 系列（光固化成型法）和 SLS 系列（粉末烧结法）。另外还销售一种专业设备，采用了名为直接金属成型的金属熔融方式（SLM）。

## Stratasys公司

Stratasys 公司和 3D Systems 公司是现在 3D 打印机行业的两大巨头。目前，Stratasys 公司只有工业用打印机（截至 2013 年 5 月）。该公司在日本的销售代理商为丸红信息系统公司和 ALTECH 公司。

图 ■ Stratasys 公司




URL www.stratasys.com/

### Mojo/uPrint/Dimension/Fortus

这个系列由 Stratasys 开发并销售的 FDM（热熔融树脂沉积法）3D 打印机发展而来。各机型的最大差别是打印成品的尺寸大小。最小的机型 Mojo 可成型约为 13cm 见方的物体。最顶级机型 Fortus 甚至可以打印汽车保险杠或是发动机盖那么大的物品。

### Objet 系列

2012 年 Stratasys 公司将以色列的 3D 打印制造商 Objet 公司收购到旗下。Objet 系列有从桌面型的 Objet24/30Pro 到最高端的 Connex 等多个的机型。所有机型都是采用喷墨方式，越是高端的机型可成型的成品越大，最顶级的 Connex 机型可以采用 Stratasys 公司称为 Digital material[①] 的材料方式。

图 uPrint（左图）和 Connex（右图）

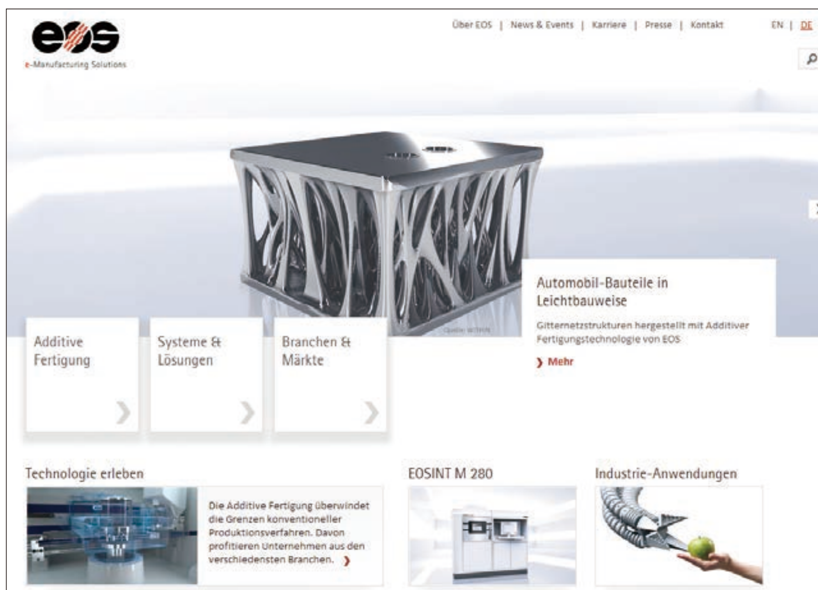


## EOS公司

EOS 公司是主要采用粉末烧结法的德国 3D 打印机制造商。主要制造并销售名为 EOSINT 的工业用 3D 打印机。

① Digital material 是指可以将两种原材料树脂混在一起使用的技术，这样可以大幅扩展可选材料的范围。

图 ■ EOS 公司

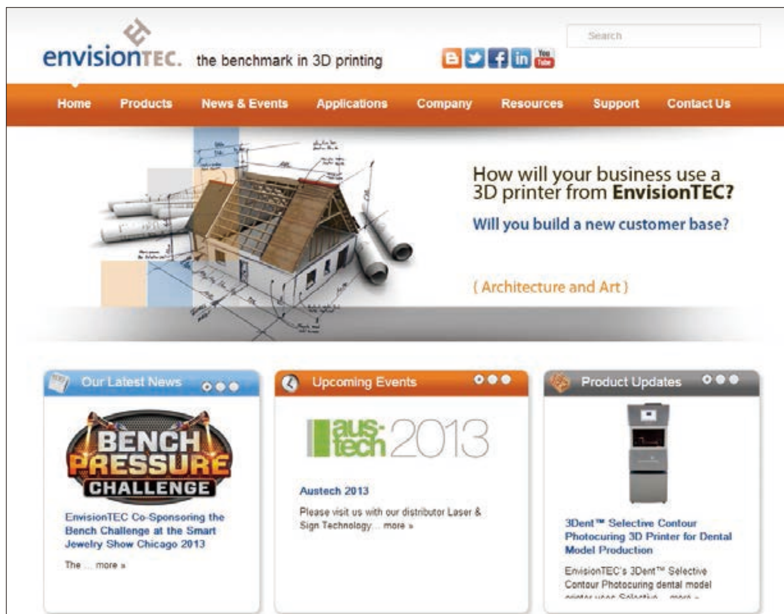



URL www.eos.info/

## Envision TEC公司

Envision TEC 公司是主要生产 Perfactory 系列机型的德国制造商，主要采用以可见光实现的光固化成型法。其打印成品具有非常光滑的表面效果，主要用于饰品行业。

图 ■ Envision TEC 公司




URL envisiontec.com/

## Digitalwax公司

Digitalwax 公司是生产吊式光固化成型设备 DigitalWax 的制造商。这种打印机打印出的成品表面非常光滑，广泛应用于饰品行业。

图 ▪ Digitalwax 公司




URL www.digitalwax.asia/

## KEYENCE公司

KEYENCE 公司是日本企业，生产采用喷墨方式的 3D 打印机 Agilista，这是工业用主流设备中唯一的日本制设备。该设备的卖点是打印所用的支撑材料为水溶性的，清理起来比较容易。

图 ▪ KEYENCE 公司

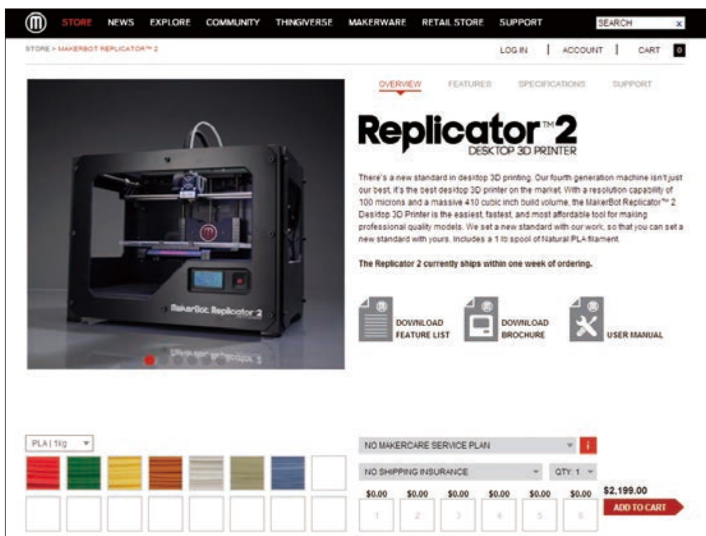



URL www.keyence.co.jp

## Makerbot公司

Makerbot公司是生产采用热熔融沉积法的Replicator2和Replicator2X的制造商。Replicator2的售价为2 199美元（约合人民币1万3 000元），Replicator2X的售价为2 799美元（约合人民币1万7 000元），都是个人用户可以接受的价格。

图 Makerbot 公司




URL www.makerbot.com/

## Solidoodle公司

Solidoodle公司是生产采用热熔融沉积法的Solidoodle的制造商。定价为499美元到699美元之间（约合人民币3 100元~4 300元），属于比较平民化的价格。其最大成型尺寸约为15cm见方。

图 Solidoodle 公司




URL www.solidoodle.com

第1章 产品制造的基础知识及3D打印机简介

## Hotproceed公司

Hotproceed 公司是日本的个人 3D 打印机制造商。开发并销售采用热熔融树脂沉积法的 Blade-1 打印机。Blade-1 标准机型的售价为 13 万日元（约合人民币 7 800 元）。该公司除了销售自主研发的 Blade-1 机型外，还销售美国 B9Creator 公司采用光固化成型方式的 3D 打印机 B9Creator，售价为 50 万日元（约合人民币 3 万元）。

图 ■ Hotproceed 公司

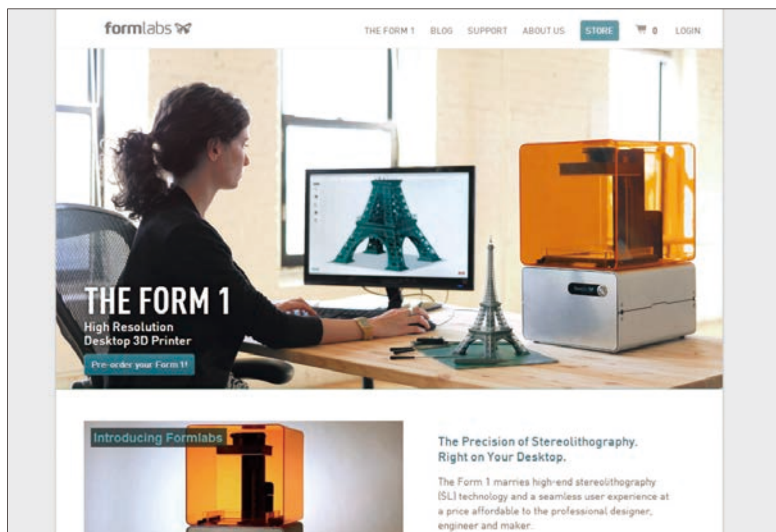



URL hotproceed.com/

## Formlabs公司

Formlabs 公司开发了采用光固化成型方式的 3D 打印机 THE FORM1，售价为 3 299 美元（约合人民币 2 万元），于 2013 年 6 月开始接收大众预定。

图 ■ Formlabs 公司




URL formlabs.com/

第1章

# 1.6 产品制造所用的材料

由于产品制造需要制作出真实的成品来，所以必须要在一定程度上了解该产品所选用的材料。例如打印 iPhone 外壳选用的材料，ABS 树脂层的强度比较好，所以使用这种材料制作出来的外壳应该是可以保证正常使用的，但如果使用强度比较弱的丙烯酸类树脂来打印则很容易就断裂了。所以在制作产品时需要考虑产品的特征和实际使用的情况、使用时长等因素，选择相应的材料。

但是可用的材料种类繁多，而且新材料也不断涌现，不可能一下子把所有的都弄清楚。所以刚开始的时候可以先从最简单的材料开始反复试验，一点点积累经验。还可以在委托打印服务和工厂加工制作时和相关的技术人员探讨一下，这些人非常了解每种材料的特性，应该会给出一些非常有益的建议。

下面就简单介绍一下常用材料的特性。

## 1.6.1 金属

可以说金属是在产品制造领域使用最多的材料。在工业产品中大量使用了铝合金和钢合金。

铝合金有一定的硬度且重量轻，可以用于很多产品，例如 2024 硬铝、最强力的 7075 铝合金就用于飞机制造等领域。另外也有使用硬铝制造 iPhone 外壳的公司，这种产品广受欢迎（如图所示），在国内外都有很多订单。

图 FACTRON ON SHOP




URL factron.net/quattroforiP5HD.html

钢是以铁为主要成分的合金，在我们周围有比铝还高的出现频率。这种材料虽然比铝重一些，但比较容易处理，且不锈钢等合金有不易生锈的特点。

人类从很早的年代就开始使用铁，所以加工方法也非常多。想要做成箱型的容器时通常采用钣金加工的方式，我们身边就有很多通过折弯铁板做成的容器。另外，根据具体需要的形状和用途，还可以考虑切削材料快的方法，以及铸造（在模具中注入熔融的液态金属）的方法。汽车的发动机缸体就是铸铁产品。井盖、螺丝、日本传统工艺品“南部铁器”等也都是铁制品。

在珠宝饰品领域，金和银也是广泛使用的。金是比较柔软的金属，需要比较特别的加工技术。

金属钛在重量和强度方面都比较优越，用于军用飞机等，但其加工难度比铝等材料的加工难度要大。

此外经常用到的金属材料还有铜。而且，现在还有很多可以弥补金属材料自身缺陷的合金材料。如果读者有感兴趣的金属材料，最好能详细调查该材料的相关特征。

## 1.6.2 树脂

树脂是现代制造业中变化最大的材料之一。相比金属和木材来说，树脂材料轻很多，而且可以加工成各种各样的形状。在防水性和绝缘性方面也有很好的表现。但是一般的树脂受到紫外线照射都会发生退化，而且大多在强度上不及金属材料。

但是像 FRP（Fiber Reinforced Plastics，纤维强化塑料）那样，使用光纤、凯夫拉、碳纤等材料进行加固的话也可以得到强度比铁还大的材料。在 FRP 中还有一种在高温高压设备中成型的叫做 Autoclave 的材料，可用于制造赛车车体和波音 787 飞机的机体。

由于树脂是从石油中生成的材料，所以不会像天然原料那样发生腐坏，但也要注意相比金属材料来说，它比较难于循环利用。

### 树脂的种类

树脂有非常繁多的种类。例如塑料玩具的材料，除了最多使用的聚苯乙烯外，还有 ABS 树脂和聚丙烯等。

而且新的树脂也在不断研发出来，所以在选择树脂注塑成型的模拟软件时，该软件可选树脂类型的多少也是重要的考虑因素。

下表归纳了一些主要树脂材料的简要特征以供参考。实际使用时可以向树脂制造商咨询具体信息。

表 主要树脂的特征

| | | 机械性能 | | | 成型性能 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 常用名 | 参考品牌 | 强度 | 抗冲击性 | 耐高温性 | 耐弯折度及尺寸精度 | 极小处填充性 | 厚处抗空洞性 | 厚处抗收缩性 | 耐刺透性 | 价位 |
| 聚缩醛 | DURACON | 中 | 中 | 中－低 | △ | △ | × | ○ | ○ | 中 |
| 尼龙 66 | Amiran | 中 | 高 | 低 | △ | ◎ | ○ | △ | × | 中 |
| 尼龙 66，强化玻璃纤维 | Amiran | 高 | 中 | 高 | × | ○ | ◎ | ○ | △ | 中 |
| PP– 聚丙烯 | SunAllomer | 低 | 高 | 低 | △ | ◎ | × | × | × | 低 |
| HDPE- 高密度聚乙烯 | HI-ZEX | 低 | 高 | 低 | △ | ◎ | 不明 | × | × | 低 |
| PC- 聚碳酸酯 | Panlite | 中 | 高 | 中－高 | ○ | △ | △<br>○ | △ | ○ | 中－高 |
| ABS | TECHNO ABS<br>KRALASTIC | 中－低 | 高 | 低 | ○ | △ | ○ | △ | ○ | 低 |
| PC/ABS 合金 | Bayblend<br>Novalloy | 中 | 高 | 中 | ○—◎ | △ | ○ | △ | ○ | 中 |
| PBT- 聚对苯二甲酸丁二醇酯 | DURANEX | 中 | 高 | 低 | △ | △ | 不明 | △ | △ | 中－高 |
| PBT- 玻璃纤维增强 | DURANEX | 高 | 中 | 中 | × | △ | ○ | ○ | △ | 中－高 |
| PS- 聚苯乙烯 | PSJ-POLYSTYRENE | 中－低 | 低 | 低 | ○ | ○ | 不明 | △ | △ | 低 |
| TPE | Elastomer | 低 | 高 | 低 | × | ◎ | ◎ | ○ | × | 中－低 |
| 丙烯酸 | Delpet<br>ACRYPET | 中 | 低 | 低 | ○ | △ | ◎ | ○ | ○ | 中 |

资料来源：proto labs G.K.

## 1.6.3 木材

提到工业产品，通常会首先想到金属或树脂之类的材料，实际上木材也是经常用到的材料。木材虽然看起来与 iPhone 之类的高科技不太合拍，但实际上也有人在生产带有天然木纹的木制 iPhone 外壳，而且使用木材还可以增加产品的亮点。

小到日用杂物、容器、餐具，大到靠背椅等各种家具，可以说木材是能够做出各种各样产品的万能材料。如果使用切削加工机，则木材与金属相同，也可以通过切削材料块的方式制作成品。

而且如果对材料的外观没有特别严格的要求，那么使用木材还能够降低成本。在一些商店里也可以买到便宜的胶合板，针叶树或是阔叶树的木材也不难找到。如果比较重视材料的可加工性，建议选择针叶树木材。

木材实际上也是种类繁多的，大家可以查找专门的资料做进一步的了解，以扩展自己的产品制造视野。

## 1.6.4　组件的采购

在本章最后，让我们撇开材料本身，简单探讨下组件的采购。

我们身边大多数的物品都是由多个组件组合起来的，可以使用黏合剂、或是螺钉之类的将组件固定在一起。当然，没有必要自己制作所有的组件，直接买螺钉之类的既不贵质量也有保证，因此可以充分利用商店里容易买到的东西，更可以在网上直接够买各种各样的组件。如果你用心找一找，可以发现有很多东西是可以拿来一用的。

专业的制造商也不是所有东西都从零开始制造，很多组件也需要从其他交易方调取。所以对于大家来说，采购来的组件都可以成为很重要的材料。如果已经有了很好用的东西，拿来直接用即可。大家在商店里四处转转，相信一定能够搜集到可以使用的组件。

专栏

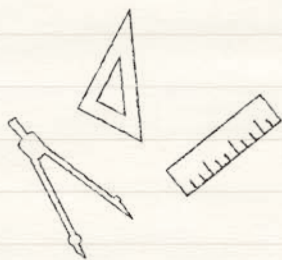


### 深入学习材料的相关知识

如果希望从事专业的产品制造，还需要学习材料力学的相关知识。这对于非工科出身的人可能有点儿难，需要学习市面上一些简单易懂的专业书籍。

另外，以树脂为代表的材料的种类，其开发日新月异，所以如果对材料的要求比较高的话，就需要不断更新自己的知识。

不过，只是一味的自学不仅辛苦而且有局限性，在试做产品并不断加深认识的同时，保持与各领域专家及产品制造同行之间的沟通也是非常重要的。



# 第2章 3D建模的基础知识

上一章介绍了产品制造的基本流程及个人和小规模企业的产品制造发展趋势，同时还提到了个人参与产品制造必须具备3D建模的相关知识。那么，本章就面向没有3D建模经验的初学者介绍一下3D建模的基础知识。

第2章

# 2.1 什么是3D建模

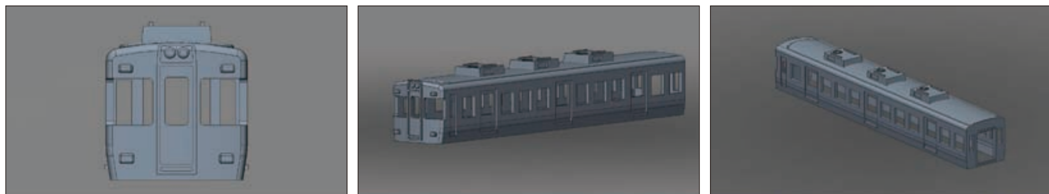
我们在使用3D打印机时需要用到3D数据，而制作这个3D数据的过程即称为3D建模。3D建模所用的工具称为3D CAD软件或3D CG软件。在介绍软件的使用方法之前，我们先来进一步解释什么是3D数据。

## 2.1.1 什么是3D数据

3D数据是在电脑上制作的、用于展现立体形态的数据。电脑屏幕是二维平面设备，所以尽管在屏幕上看起来仍是平面的图像，但实际上这种3D数据具备X、Y、Z三轴上的位置信息。以一节列车的正面效果图为例，普通的照片或绘画只能看见正面部分的信息，因为不具备其他信息所以无法看到列车后面或侧面的样子。而如果是3D数据，就会虚拟出立体的效果，转动图像就可以看到车厢的后面和侧面，甚至还可以轻松地看到车顶和车底。

图 3D数据和2D数据（照片或绘画）的区别

3D数据



由于这是一套立体数据，转动图像即可以像看实物一样从各个角度观看列车车厢。

2D数据（示意）



虽然正面与3D数据是一样的，但由于不具备立体数据，所以无论怎么转也无法看到列车车厢的侧面和后面。如果把图像转动90度，就什么都看不到了。

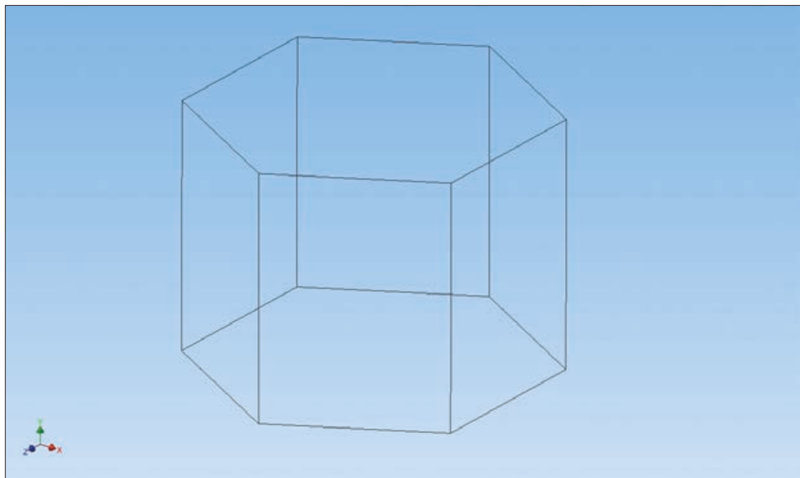
## 2.1.2 3D 数据的体现方式

3D 数据有很多种体现方式，不仅各种体现方式有相应的适宜建模种类，而且各种建模工具也相应有不同的适用范畴，因此有必要分别了解一些它们各自的特点。

### 线框方式

这是一种仅使用线信息来构筑立体形态的体现方式。这种方式虽然可以做出大体的形态，但很难将形态充分体现出来，现在常用的建模工具基本都不会采用这种方式，只有初期的 3D CAD 曾经采用过。

图 线框方式的 3D 数据



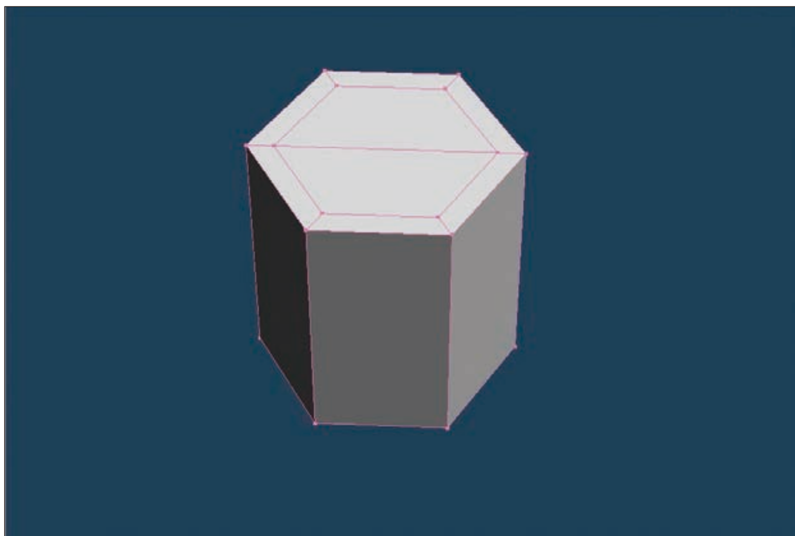
### 多边形方式

多边形方式是使用三角形单元的集合体来体现立体形态的方式。这种方式是将立体形态分割成若干个小单位来体现的，因此虽然不能达到非常精确的程度，但可以通过细分每个单位来达到相对平滑的效果。

这种方式可以通过多边形的位移来实现自由变换形态的效果，所以非常适合人物、动物、卡通形象等灵活形态的建模。3D CG 软件大部分都采用了这种方式。

另外，多边形数量缩减后的模型称为低多边形模型，这种模型虽然分辨率不高，但由于数据量大幅压缩，所以非常适用于要求动作变化速度快的游戏角色制作。不过，这种方式无法体现精确的规格尺寸，所以不适用于机械零件等工业产品的设计。

图 ■ 多边形方式的 3D 数据

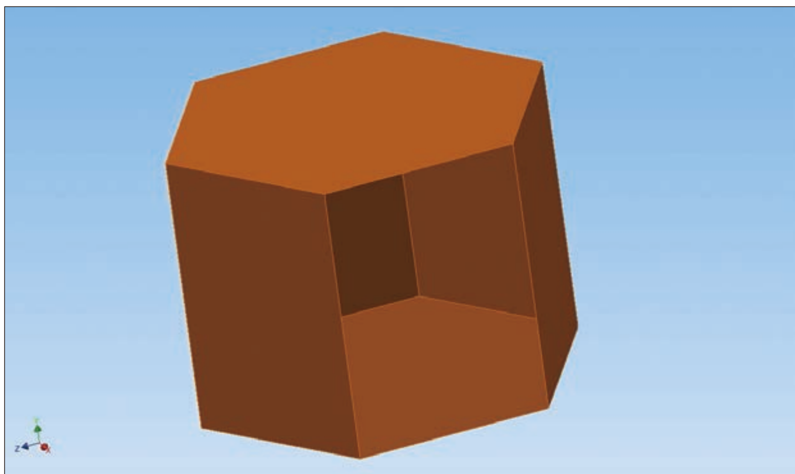


## 面方式

面方式是指利用面的形式体现 3D 形态。这种方式的 3D 建模工具是通过定义数学意义上的曲面 NURBS（Non-Uniform Rational B Spline，非均匀有理 B 样条曲线）信息来体现准确形状的。

但这种方式只有“面”的信息，所以不适用于机械零件的设计和装配等操作。

图 ■ 面方式的 3D 数据



## 实体方式

实体方式是通过数学上定义的几何信息和位相来体现 3D 形态的方式。单独解释起来可能比较晦涩，下面一边与面方式进行比较一边介绍实体方式的特点。

例如一个长方体，如果使用面方式来体现，其结果虽然看似是个立方体，但由于数据

上只定义了立方体的几个面，而没有定义几个面之间的相互关系，所以这个数据最多只能体现一个中空无物的盒子形态。

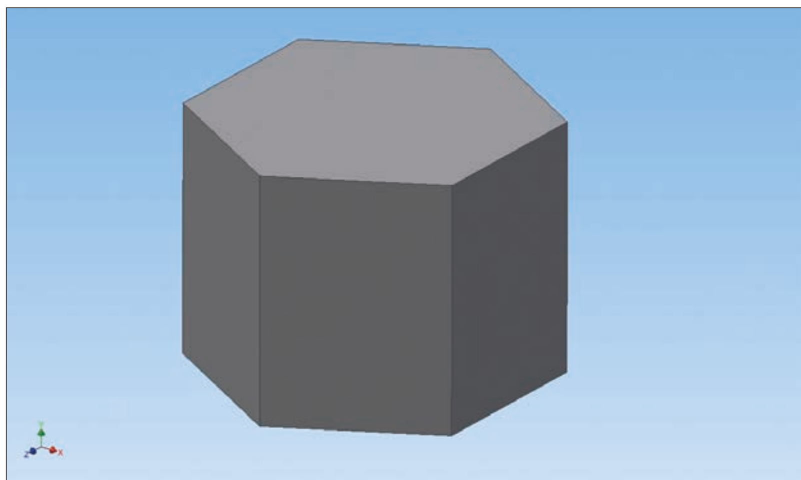
而实体方式是包含了实心的数据，除了具有体积等数据外，还可以通过定义实际使用的材料来计算出重量、重心等物理属性的数据，也就是说这种方式可以在电脑上虚拟立体形态。因为体现的效果是虚拟的块状物，所以该方式还可以用来实现机械零件之间的干涉检查等。

现在大多工业用的 3D CAD 都采用这种方式，由于可以在从数学角度准确体现形态，所以除去电脑的数值误差因素，它几乎可以完美地展现产品的尺寸规格效果。

但对于一些不是通过精确数据而是通过丰富变化的形态来体现的灵活形状（卡通形象等），这种实体方式并不适用。

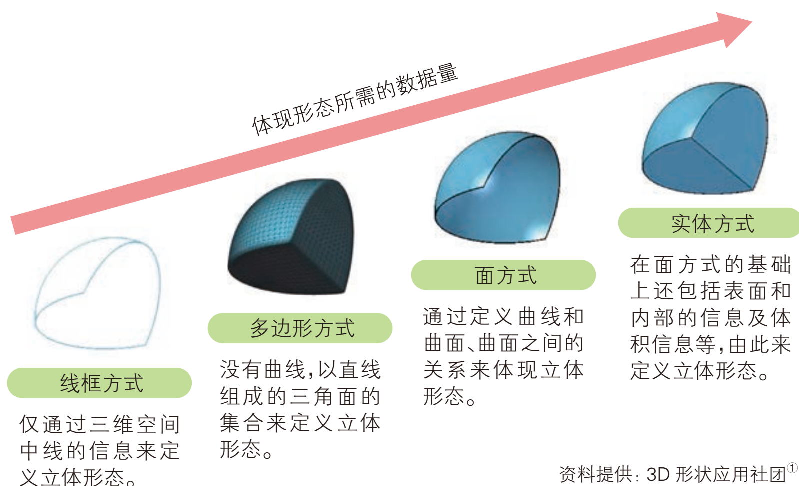
本书介绍的 Autodesk 公司的 123D Design 就属于采用实体方式的建模工具。

图 实体方式的 3D 数据



上面我们从线框方式到实体方式介绍了各种 3D 数据体现方式的特点，此外它们在数据量方面也是有差别的。这几种方式中数据量最少的是线框方式，最多的是实体方式。

图 ■ 各种体现方式数据量的差别




资料提供：3D 形状应用社团[①]

专栏



## 共享 3D 数据带来的可能性和危害

本书在关于组件采购的介绍（参见本书 1.6.4 节）中曾建议大家不必每个部分都亲历亲为，而是采购一些现成的组件。这个思路不仅限于实体的组件，也可以扩展到产品设计的 3D 数据方面。3D 数据毕竟是数字数据，所以我们可以使用一些在网上公开且允许使用的基础资源，这样也有助于较快地完成自己的产品（参见本书 3.1.1–5 的内容）。当然最终的形状要由自己来完成，但有时一些通用组件和基本形状最好还是寻找现有的东西。

另一方面，作为最新的高科技产物，3D 打印机也有危险的一面。此前曾有消息说某团体在网上公开了塑料枪所有组件的 3D 打印数据，虽然现在已经停止公开了，但可想而知，如果有人得到这样的数据马上就可以把枪打印出来。

我们姑且不谈论事情本身的是非对错，但可以说数字数据复制的便捷性也增加了著作权及其他领域的违法隐患。所以在使用其他人的数据之前请一定先确认其使用的合法性。

图 ■ Forbs 有关 3D 打印机的报道




资料来源：2013 年 5 月 8 日 Forbs(http://www.forbes.com/) 的相关报道 3D–Printed Gun's Blueprints Downloaded 100,000 Times In Two Days(With Some Help From Kim Dotcom)。

① 3D 形状应用社团是 3D 数据应用社团的前身，本文作者水野操正是 3D 数据应用社团（http://www.3d-gan.jp/）的理事。——译者注

第2章

# 2.2 3D 建模的思维方式

本书将使用实体建模方式的 123D Design 来设计形状，所以本节以实体建模工具的 3D 建模方法为中心介绍 3D 建模的基本知识，具体形状的制作方法将在之后的章节中介绍。



## 2.2.1 制作形状的基本方法

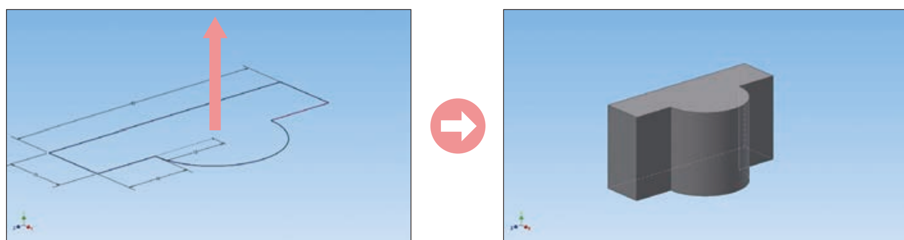
通过 3D 建模制作形状有以下四种基本方法。一些看起来很复杂的形状也可以通过几个方法的组合使用来完成。

### 直推

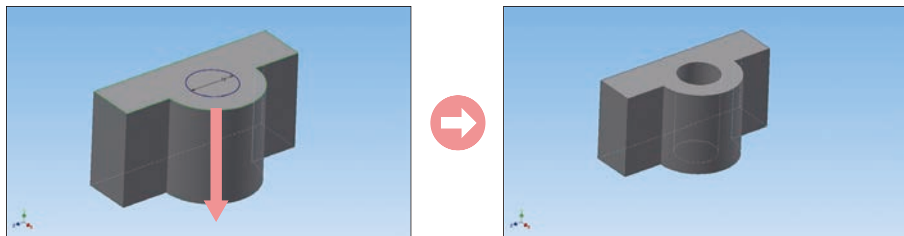
直推是指将画好的截面形状推出从而制作立体形状的方法，是最常用到的制作方法。在实际设计零件时，使用直推和之后介绍的旋转方法就能完成零件的四分之三。这个方法是把草图的截面直推出去，也就是说草图是圆就会推出圆柱体，是环形就推出圆筒，是长方形就会推出长方体。

图 ■ 用直推方法做出立体形状

直推截面做出立体形状



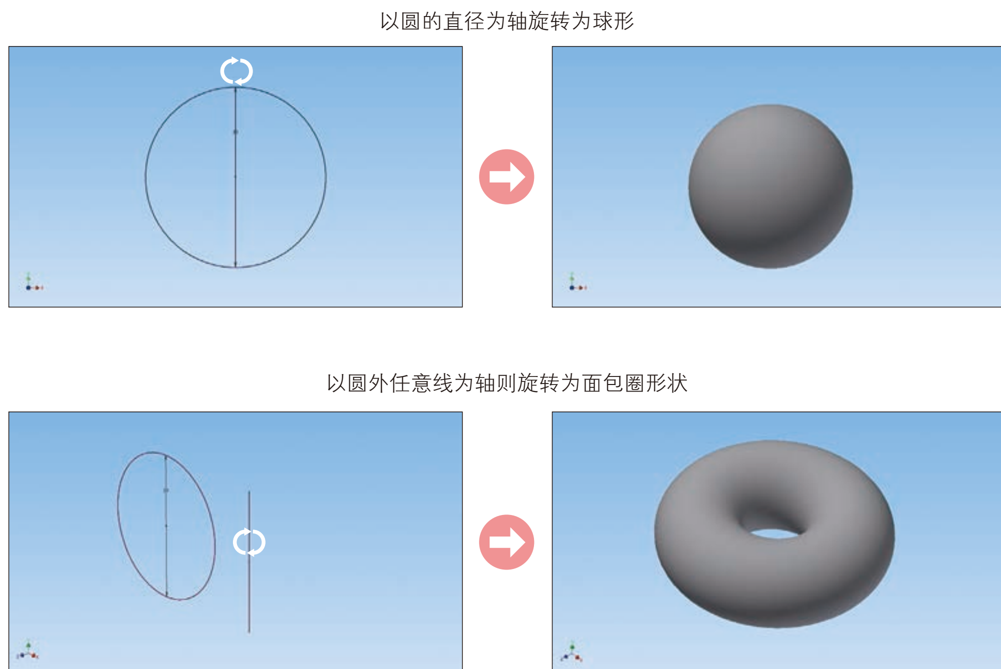
直推截面去掉立体形状



## 旋转

旋转是将画好的截面以某一轴为中心旋转从而制作立体形状的方法，这个方法也经常应用于各种零件的设计。如果草图的截面是圆，轴定在直径的位置，旋转后就会形成球形；轴定在截面之外的位置，就会形成面包圈的形状。

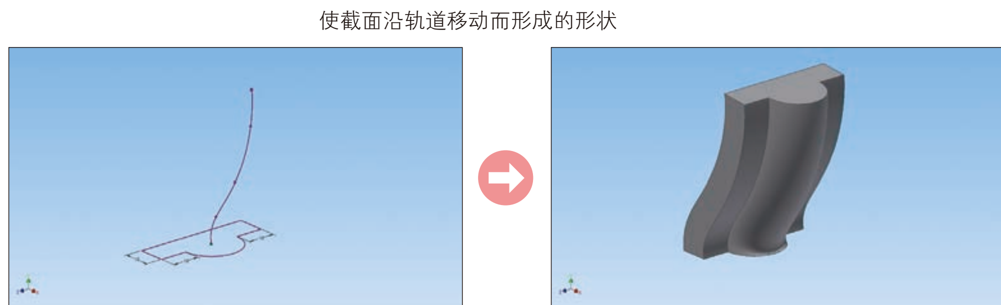
图 ■ 用旋转方法做出立体形状




## 扫轨

扫轨是使截面沿着既定轨道移动从而制作立体形状的方法，通常用于制作弯曲的管道等形状，是使用频率仅次于直推和旋转方法的常用方法。

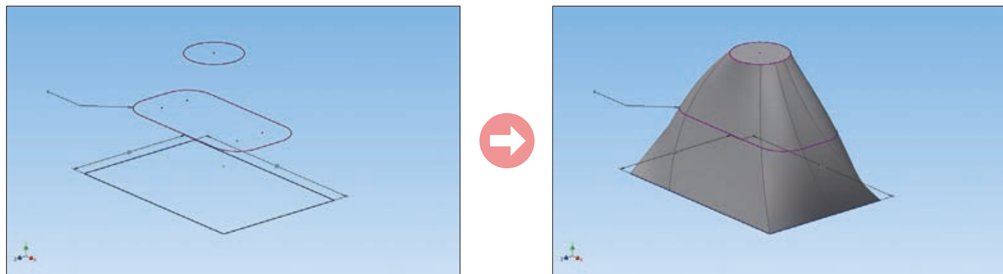
图 ■ 用扫轨方法做出立体形状



### 放样

放样是将多个截面贯穿起来从而制作立体形状的方法，也就是先画出几个关键处的截面，然后将它们连通。有的 CAD 还具有设计多条引导线的功能，这种功能可以完成类似洗涤液瓶子那种比较精细的形状。

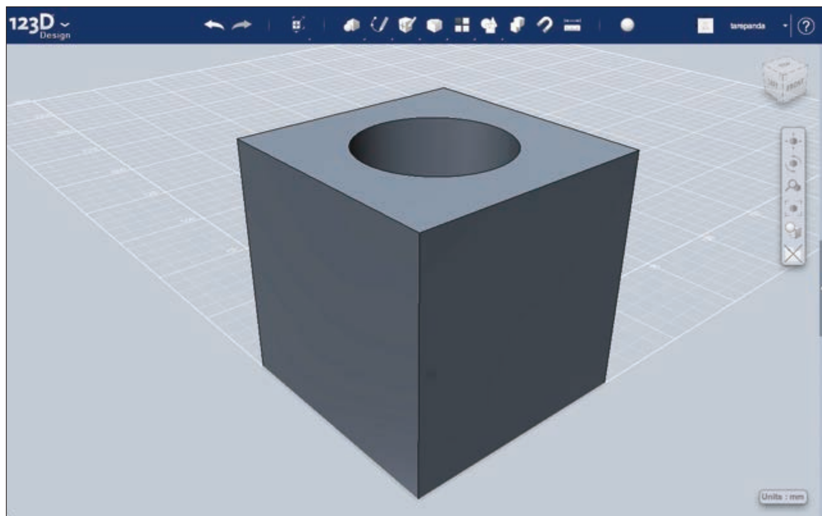
图 用放样方法做出立体形状



## 2.2.2　制作具体形状的方法

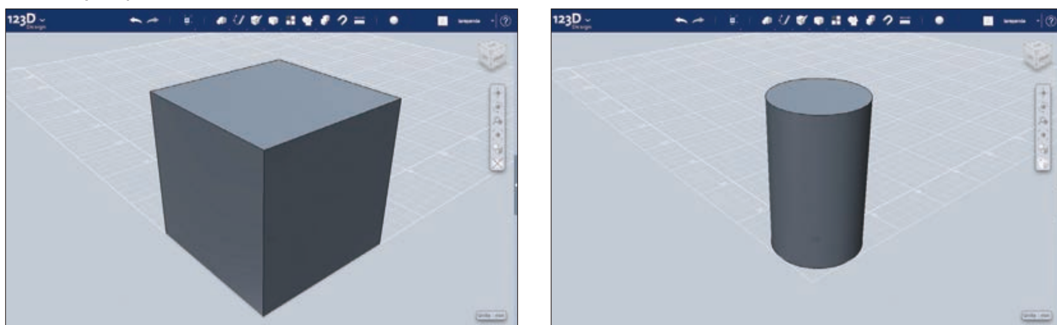
下面介绍组合上述基本方法实际进行 3D 建模的方法。下图是 123D Design 的设计界面，图中有一个中间开了圆孔的立方体，直观上会认为这就是在盒子上打孔的形式，不过我们来进一步分析它的基本组成。

图 形状 1




这个形状具体可以分解为以下两个形状。

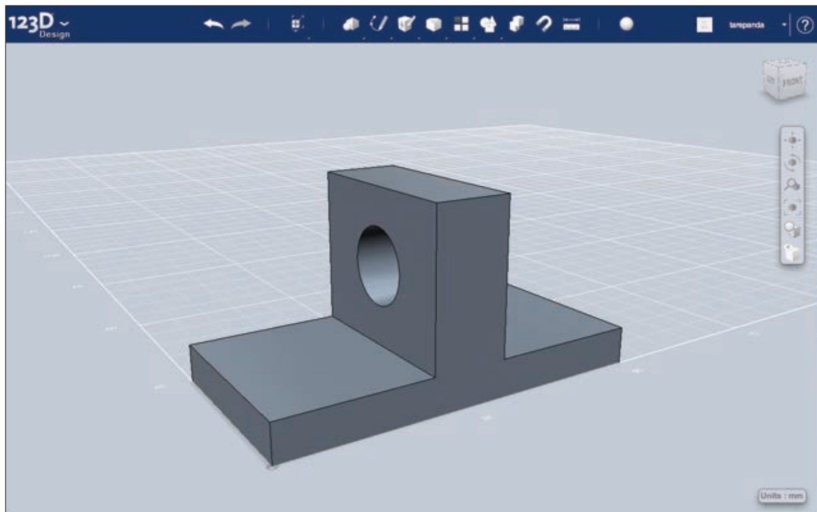
图 ■ 两个形状



即分解为原始的立方体和用于打孔的圆柱体两个形状。也就是说，可以认为该形状是从立方体上减去圆柱体而形成的，这也是实体建模方式最基本的思维方式。

下面再来分析一个稍微复杂的形状。

图 ■ 形状 2



这个形状可以有几种不同的制作思路，可以是一个平板和立板组合后打孔而成的形状，也可以是从一个大块材料上切掉不要的部分而完成的形状。

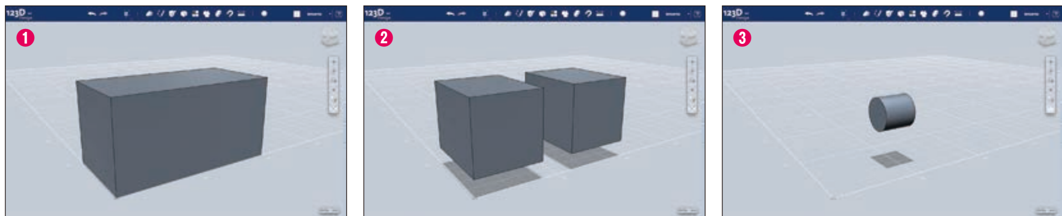
## 首先考虑重点形状

如上思考如何制作形状的过程，我们称之为确定建模基本思路的过程。这个过程通常要先从实现零件基本用途的功能性形状出发，然后再去考虑装饰部分的形状。如果先从过于细节的形状着手，就可能出现由于基本形状厚度的微调而影响整体效果的问题，造成设计过程中的额外返工。而如果调整厚度时基本形状还只是一块平板，则只需进行压低或拉高面的简单操作，自然不会影响其他部分的设计。

例如上图中的情况，可以先做一个大的长方体❶，然后为了达到立板的效果而制作用于切除两侧

的部分，也就是做两个长方体❷，最后制作打孔的圆柱体❸。

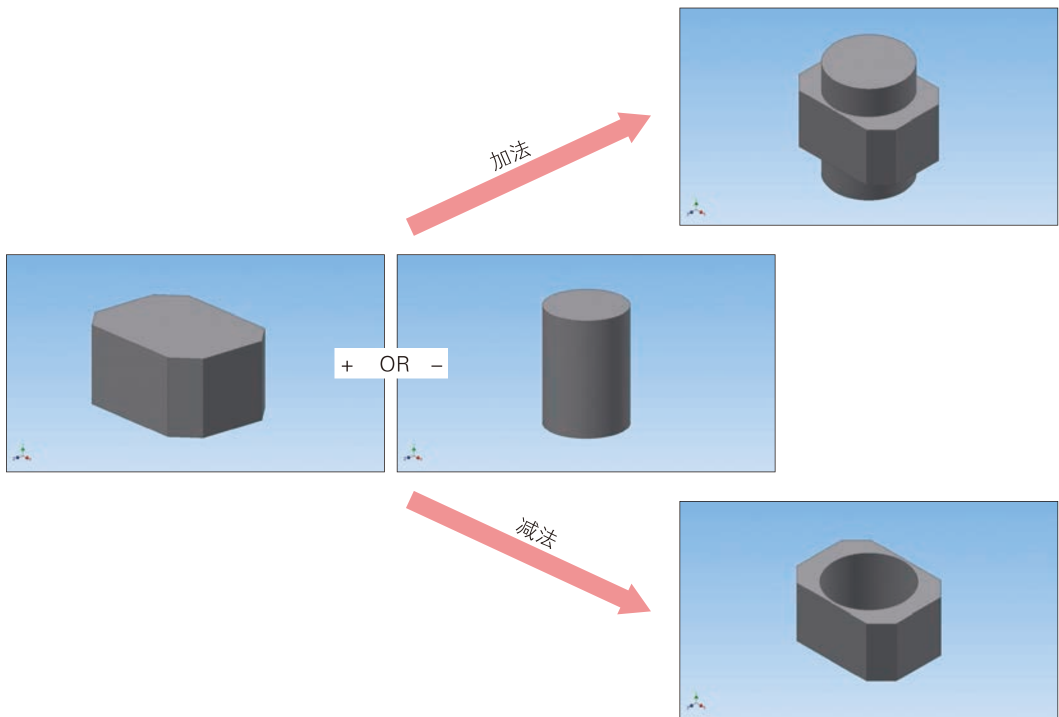
图 ■ 3个形状



## 用加减法的思路来处理形状之间的关系

之前我们只建模了两个形状，但从下面的例子则可以看出，通过将几个形状进行类似加减法运算的方式，可以得出各种不同的形状。同样是这两个基础形状，它们在做加法和做减法后得出了两个不同的最终形状。如果熟练掌握了这种处理思路，建模就比较轻松了。

图 ■ 形状之间做加法和减法能够得出不一样的最终形状



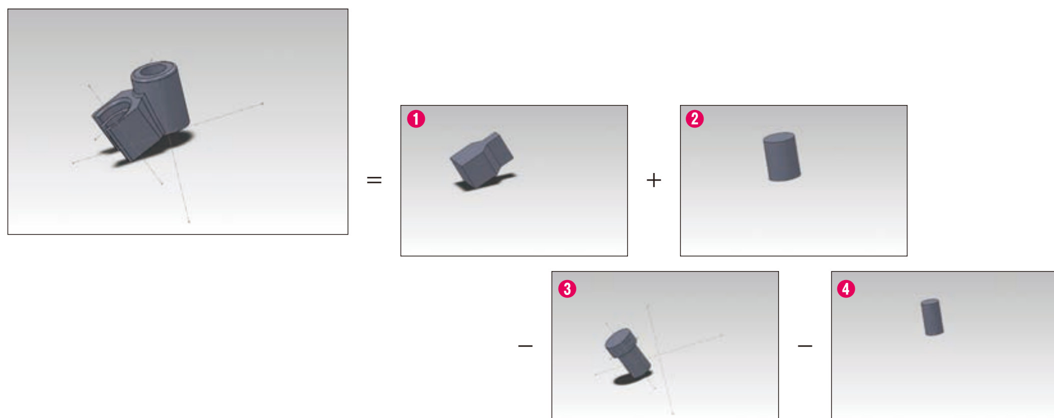
## 2.2.3　3D 建模的作业流程

3D 建模的基本流程如下。

### 步骤1 构思

首先要思考形状的大体制作思路。虽然数据可以随时编辑修改，但越是复杂的形状越要先想清楚具体的制作流程，这样才能尽量避免无用功。例如下图的形状虽然看起来比较复杂，但如果分解成形状之间的加减运算，一下子就清晰了。

图 形状制作示例




这是从块状物体❶和圆柱体❷的组合体上去掉螺栓状物体❸和细圆柱体❹的结果，最后再给硬边做倒圆角处理即可。像这样，在开始建模前先分出零件单元就可以方便之后的操作。

### 步骤2 按照构思建模

下面按照上一步想好的思路开始建模。这里需要注意的是，要先从功能上重要且形状大的部分开始着手。另外，在制作由多个零件装配而成的物品时，需要充分考虑零件之间的装配关系。

### 步骤3 3D 数据的实际应用

完成建模后的 3D 数据有各种使用方式，由于 3D 数据是虚拟的，所以使用范围也非常广泛。当多人合作制造产品时，特别是需要职责不同的各方（例如设计师和制造工程师等）沟通合作时，如果没有已经做好的实物，那借用 3D 数据来交流确认也是非常有效的。不过，这点对于个人制造商来说可能感受不深。

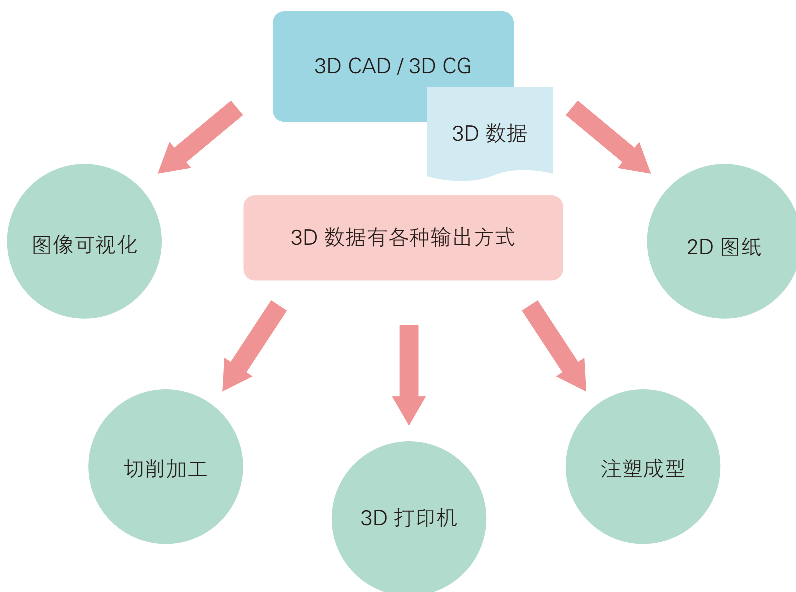
而且 3D 数据可以用来模拟产品。通过确认各零件组合在一起是否发生互相干扰、解

析结构等就可以对产品受压后的弯曲受损程度等进行前期验证[1]。

此外，设计出的 3D 模型图像也可以灵活应用在使用说明书、商品目录、宣传资料等文档中。

当然，3D 数据可以直接用于制造。如果将其保存为 3D 打印机通用的 STL 格式的文件，不仅可以用于 3D 打印机，还可以用于切削加工等制造方法。

图 ■ 3D 数据的使用范围




提示

STL 文件（STereoLithograpy）是 3D 打印机制造商 3D Systems 公司开发的文件格式。使用三角形单元集合体的形式体现三维立体形状。现在不仅 3D Systems 公司的产品，大多数 3D 打印机都支持这个格式，所以可以说它是使用 3D 打印机打印的标准文件格式。关于 STL 文件的制作和使用方法将在第 7 章中详细介绍。

## 2.2.4 3D 数据的文件格式

我们对经常在电脑上使用的文件都很熟悉，例如一看到带有 .doc 或 .docx 扩展名的便知道这是 Microsoft Word 的文件，带有 .psd 扩展名的是 Adobe Photoshop 的文件，而带有 .jpeg 或 .png 扩展名的则是照片或图片文件。

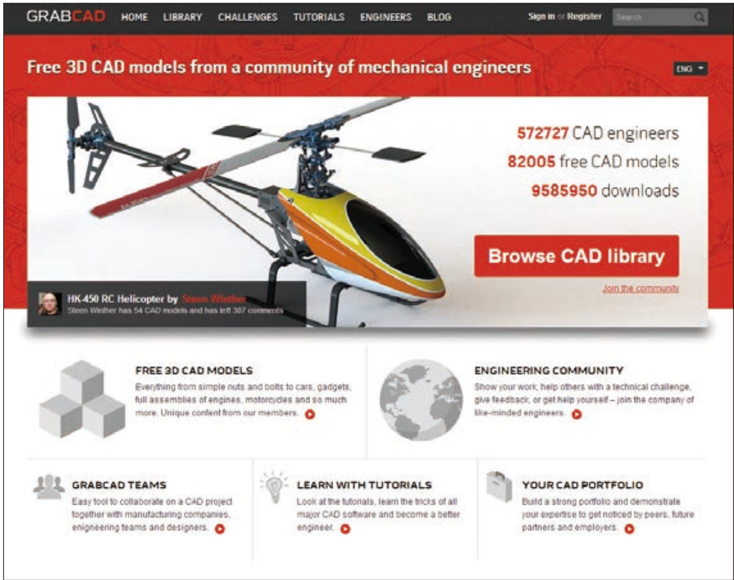
但 3D 数据有很多种文件格式，如果不是非常熟练的业内人士，只看扩展名则很难判断出该文件具体的格式。所以我们先不用熟记所有的文件格式，而是要在使用的过程中逐

① 本书介绍的 CAD 软件 123D Design 不具备装配功能（装配零件及模拟运转效果等），无法完成组件间的干扰验证和解析结构等的工作。进行这些作业需要专业的 CAD 软件。

渐了解。目前，只要知道 3D 打印机打印所用的文件格式和常用 CAD 软件可导入的文件格式即可。

例如下图中名为 GrabCAD 的网站免费公开了全世界 3D CAD 高手所制作的 3D 数据，在借鉴这些他人制作的 3D 数据时我们就需要对文件格式有一定程度的了解。

图 ▪ GrabCAD




URL grabcad.com/

## 123D Design可处理的文件格式

本书中介绍的 123D Design 软件其标准文件格式和能够兼容的文件格式如下表所示。

表 ▪ 123D Design 可处理的 3D 数据文件格式

| 扩展名 | 说明 | 导入 123D | 从 123D 导出 |
|---|---|---|---|
| .123dx | 123D Design 自有文件格式 | ○ | ○ |
| .123d | 123D 测试版的文件格式 | ○ | × |
| .123c | 123D 的多边形文件格式 | ○ | × |
| .stl | 输出到 3D 打印机时所用的文件格式 | × | ○ |
| .stp/<br>.step | 3D CAD 软件最常用的中间文件格式之一，称为 step。主要用于不同机型之间的数据交换 | ○ | × |
| .sat | ACIS 实体建模内核（请参照随后专栏的内容）的自有文件格式 | ○ | × |

使用 123D Design 的话只要掌握上述这些文件格式就足矣了。以前面介绍过的 GrabCAD 为例，如果在该网站找到了制作好的 step 格式 iPhone 外壳数据，那就可以读取这个数据并以此为基础制作属于自己的、独一无二的 iPhone 外壳了。

专栏



### 实体建模内核

3D CAD 软件中用来制作三维形状的最核心的程序叫做实体建模内核。CAD 软件就是依靠这个实体建模内核来生成 3D 形状的。

有的 CAD 软件使用的实体建模内核是由制造此款 CAD 的公司独自研发的，也有的 CAD 软件使用的是市场出售的产品。上表中提到的 ACIS 是全世界最流行的实体建模内核产品之一。



技术要点



## 各种文件格式

如上所述，3D 数据文件格式根据 CAD 软件的差别而有所不同，而且还有多种用于各 CAD 软件之间交换数据的中间文件格式。下面简单分类介绍一下主要的文件格式。入门阶段虽然还不需要把这些都熟记下来，但在今后深入学习 3D CAD 时应该会需要这些信息。

### 各软件的本地格式

如下表所示，几乎所有的 CAD 软件都具有其独有的本地文件格式。由于是本地格式，所以基本上无法在其他公司的 CAD 软件上使用，但现在制造业需要处理各种 CAD 的数据，所以一些 CAD 软件也增加了导入其他主流 CAD 数据的功能。

表 ■ 主要的本地格式

| 扩展名 | CAD 软件名 | 123D 兼容 |
|---|---|---|
| .sldpt/.sldasm | SolidWorks(SolidWorks 公司 ) | × |
| .iam/.ipt | Autodesk Inventor(Autodesk 公司 ) | × |
| .3dm | Rhinoceros(Robert McNeel 公司 ) | × |
| .prt/.asm | Pro Engineer(PTC 公司 ) | × |
| .CATPart/.CATProduct | CATIA V5(Dassault Systemes 公司 ) | × |
| .mcd | VectorWorks(A&A 公司 ) | × |
| .3ds | 3ds Max(Autodesk 公司 ) | × |
| .max | 3ds Max(Autodesk 公司 ) | × |

### 中间文件格式

由于 CAD 软件无法直接导入其他公司独有的文件，所以需要一些中间文件。

主要的中间文件格式如下表所示。其中最广泛使用的是 .iges 或 .step 等，123D Design 支持导入 .step 文件。

表 ■ 主要的中间文件格式

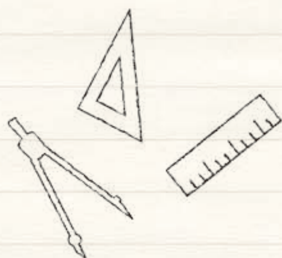
| 扩展名 | 说明 | 123D 兼容 |
|---|---|---|
| .igs/.iges | 最常用的中间文件 | × |
| .stp/.step | 广泛使用的中间文件 | 仅可导入 |
| .dxf | Autodesk 公司开发的中间文件格式 | × |
| .sat | ACIS 内核的文件格式 | 仅可导入 |

### 业界标准

在 CAD 和 CG 的行业内有一些成为业界标准（实质上的世界标准）的文件格式。例如 CAD 软件中 Autodesk 公司的 .dwg 及 CG 软件中 Wavefront 公司的 .obj 都可以说是业界惯例标准。

表 ■ 主要的业界标准文件格式

| 扩展名 | 说明 | 123D 兼容 |
|---|---|---|
| .dwg | 在 Autodesk 公司的软件中使用的文件格式，这种格式作为业界标准广泛流通（AutoCAD、AutoCAD LT 等 Autodesk 公司所有的产品） | × |
| .obj | 在 Wavefront 公司的软件中使用的文件格式，大多 3D CG 软件都兼容这个文件格式 | × |



# 第3章 123D Design的基本操作

下面将要介绍Autodesk公司提供的免费3D CAD软件——123D Design的基本操作方法。如果想要在家制造产品，就需要在一定程度上熟练掌握3D CAD的用法。如果你没有用过3D CAD，那么本章将带你从基础开始学起。

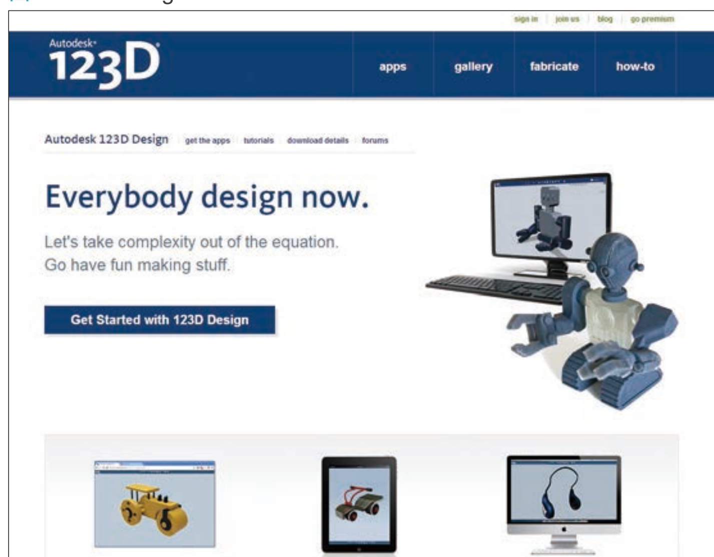
第3章

# 3.1 123D Design的简介

美国 Autodesk 公司是开发并销售广泛应用于制造及建筑行业的 AutoCAD 等专业 CAD 软件的企业，123D Design 正是该公司于 2011 年面向个人爱好者发布的 3D CAD 软件。该软件在发布过测试版本后，于 2012 年 10 月命名为 Autodesk 123D Design 正式发布。

123D Design 是真正的采用实体建模方式并可免费使用的软件，因此可以说它最适合那些出于兴趣想要尝试建模或想要在购买专业版之前初步了解 3D CAD 的人群。

图 ▪ 123D Design




URL www.123dapp.com/design

## 3.1.1 123D Design 的特点

123D Design 的特点非常丰富，下面简单介绍一下其中的一部分。

### 可以免费使用

可以说这个 CAD 软件最大的特点就是能够免费使用。传统的专业 3D CAD 软件多则 100 万日元（约合人民币 6 万元）以上，少则也要 10 万日元（约合人民币 6 000 元）。这样的话，即使想要利用 3D 打印机轻松制作自己想要的东西，那些出于兴趣的消费级用户个

人也不太可能制作出 3D 数据。所以免费的 123D Design 可以说是个人用户或爱好者学习 3D CAD 的最佳选择。

### 功能简便

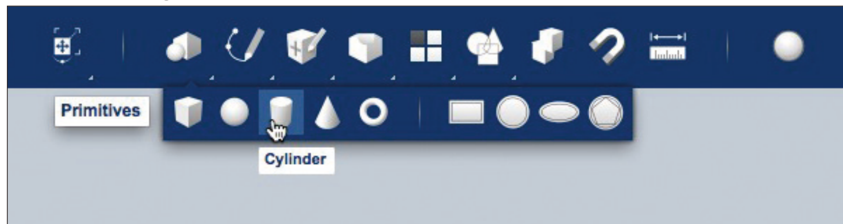
相比用于高端机械设计的 3D CAD 软件来说，123D Design 当然没有那么丰富的功能，但这不一定就是坏事。虽然这款软件在完成特别高端的作业时不够给力，可专业 CAD 软件也因功能强大而操作复杂，对于入门者来说难以驾驭。

相反，123D Design 的功能比较精炼，有助于强化建模基本思路，如果通过这个软件建立了建模的基本概念，那么今后在使用专业的 3D CAD 时也会觉得比较轻松。而且这款软件虽然功能有限，但如果熟悉了建模的基本思路后能够运用自如，也可以完成相当复杂的建模。

### 设计了丰富的图标

123D Design 虽然只提供了英文版，但并没有使用常见的菜单模式，而是使用了非常丰富的图标来表示指令。而且所用的操作指令非常精炼，即使是初学者用户也能熟练掌握。

图 123D Design 的各种图标

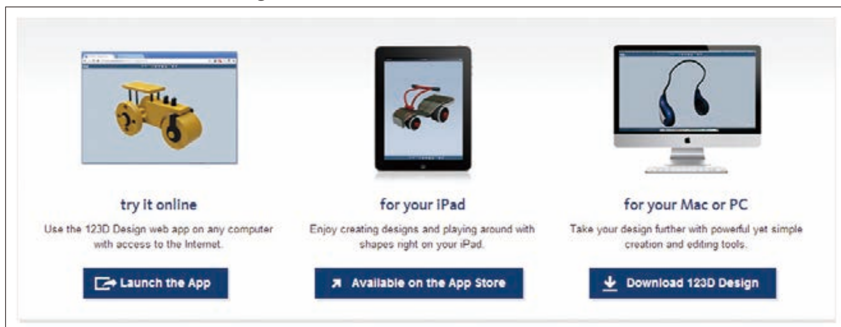



### 可以在 Mac 和 iOS 上使用

包括 3D CG 在内，很多 3D 建模工具只提供 Windows 版本，但 123D Design 除了 Windows 版以外还提供了 Mac OS 版、iOS 版和网页版。Windows 版和 Mac 版的界面和功能完全相同，iOS 版由于 iPad 本身性能的一些问题导致功能方面有些限制，但稍加修改后也可以正常使用。

除此之外，123D Design 还提供了只要有浏览器就能使用的网页版。更有意思的是，Windows 版和 Mac 版并非具备了所有的功能，例如在自己的 3D 模型上加刻文字时所使用的字样等功能就只有在网页版上才有，Windows 版和 Mac 版上反而没有。这个操作中数据的处理是通过 Autodesk 公司的云服务完成的，但即使改变操作系统也不会对数据的交互产生任何影响，实现了使用云计算的无缝对接效果。

图 ■ 可以使用 123D Design 软件的平台



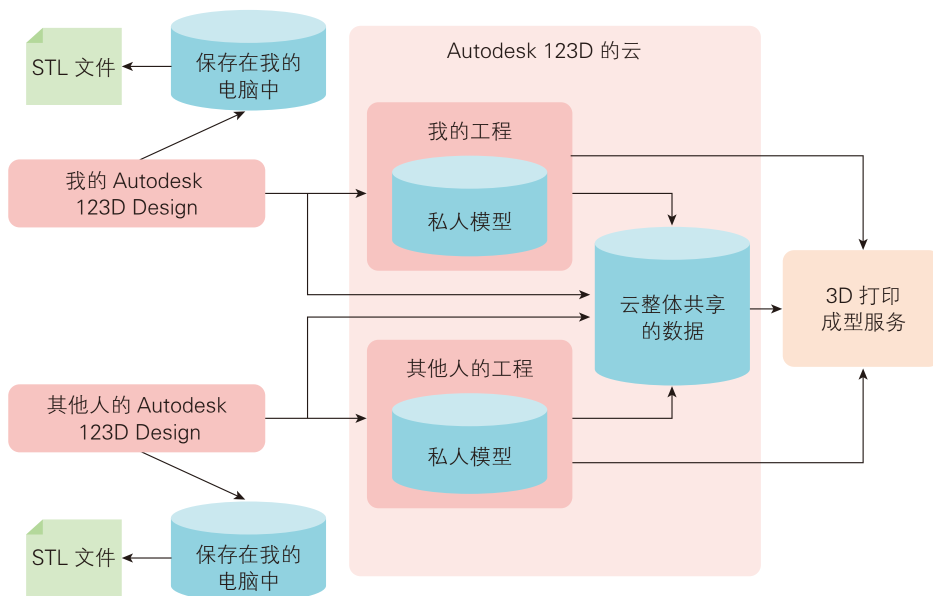

## 可以使用 3D 打印机输出

123D Design 支持 3D 打印机打印时所用的 STL 文件格式。3D 打印机是使用树脂等材料根据 3D 数据来制作立体形状的设备（参见本书 1.4 节），使用这个设备就可以把只能在电脑中显示的 3D 数据转化成实物。

123D Design 还提供了连接 Autodesk 公司云服务的功能，可以通过这个云服务将想要打印的数据交给 shapeways 或 sculpteo 等向全球提供 3D 打印成型服务的公司。借助这些服务，即使没有自己的打印机，也可以在线将自己完成的数据交给打印公司，然后由打印公司把打印好的成品邮寄到自己手上，这也是非常方便的（关于成型服务将在本书 7.2 节中详细介绍）。

另外通过 Autodesk 公司提供的云服务还可以与其他用户共享数据，利用这项服务就可以在别人设计的基础上完成自己的设计，而且也可以与他人共享自己做好的 3D 数据，并借此和大家一起交流各种经验和技巧。

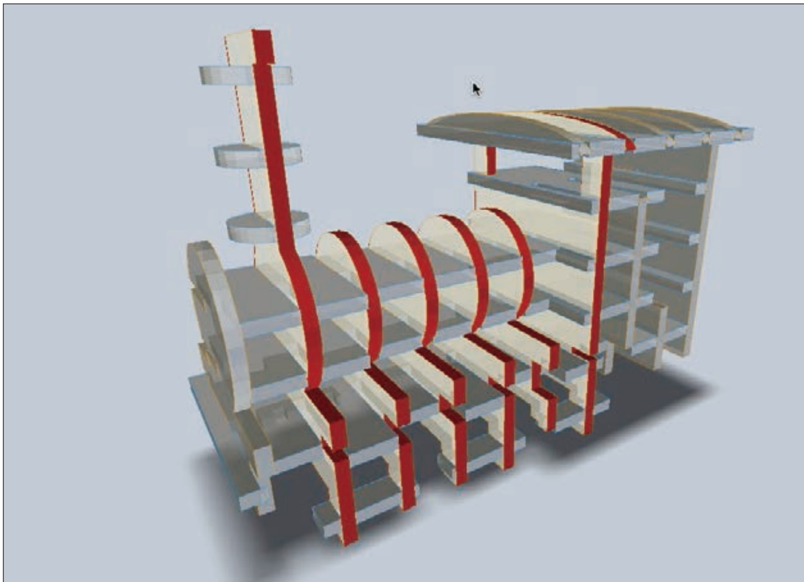
图 ■ Autodesk 公司的云服务简介



**可以用于激光切割**

123D Design 还准备了比 3D 打印更容易实现实物的制作方法，这就是激光切割输出选项。如下图所示，使用这个选项可以根据 123D Design 建模完成的立体形态输出用于激光切割的剪切图样，把这个图样印在瓦楞纸或木板上，使用激光切割后再简单组合就可以制作出立体形态。

图 用于激光切割的输出选项



## 3.1.2 丰富的 Autodesk 123D 系列

之前我们介绍的是 123D Design，实际上除了 123D Design 外，Autodesk 123D 系列还包括其他一些用于制作数据或输出的软件。如果根据自己的实际需要充分利用这些软件，就可以制作和输出更加多样的形态。Autodesk 123D 产品系列如下图所示。

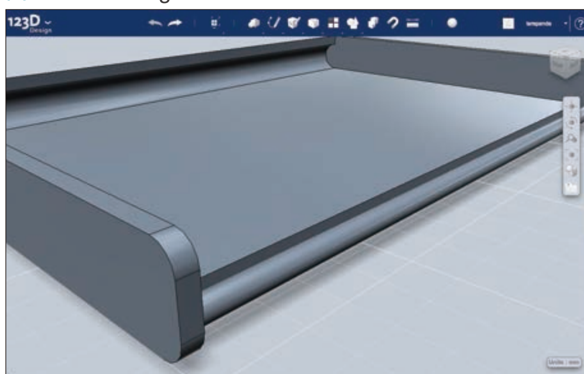
图 ▪ Autodesk 123D 的产品系列

| 123D Catch | 123D Creature | 123D Design | 123D Make | 123D Sculpt |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 是将从 360 度、各个方向对立体物品拍照的照片合成为 3D 模型的软件。提供 Windows 版、网页（在线）版、iPhone 版和 iPad 版。 | 像制作黏土工艺品那样制作 3D 形状的软件，由于其采用以骨骼为主导的设计模式，所以适用于制作动物或各种人物角色。仅提供 iPad 版。 | 是一款新手也能轻松使用的 3D CAD 软件，通过输入规格信息来定义形状，适用于工业产品的制造。提供 Windows 版、Mac 版、网页（在线）版和 iPad 版。 | 对其他 123D 软件制作的 3D 模型进行切片操作得出截面形状的软件。根据截面形状截取板材后组装，即可制作出立体形状。提供 Windows 版、Mac 版、网页（在线）版和 iPad 版。 | Sculpt 是雕刻的意思，这是对块状物通过用手指按、拉、捏、抹等动作，像利用黏度来塑性那样进行建模的软件，适于制作不拘泥于尺寸而更注重感觉的形状。仅提供 iPad 版。 |

## 123D Design

123D Design 属于通常所说的 CAD 软件，也就是以工业产品为主要设计对象，按照具体规格尺寸来确定形状的软件工具。这款软件除了可以输出适用于 3D 打印机的 STL 文件外，还可以与主流 3D 打印成型服务直接对接。123D Design 在 Windows、Mac、iOS 和网页上都可以使用。

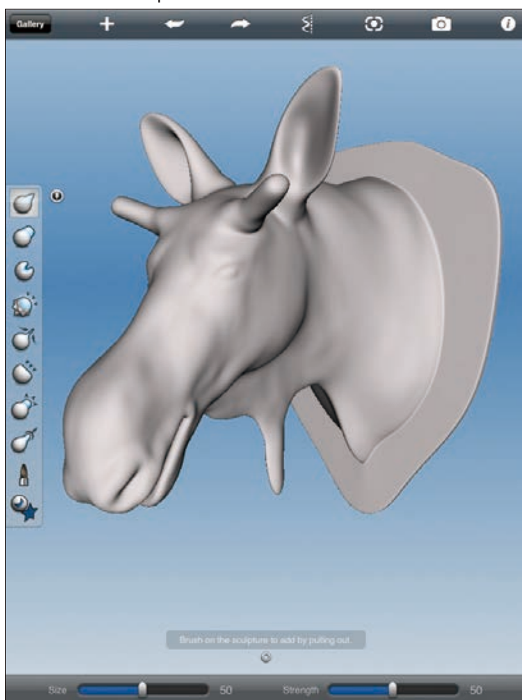
图 ▪ 123D Design



## 123D Sculpt

123D Sculpt 是类似于黏土塑形方式的 3D 建模工具，可以进行按、拉、抹等操作，也可以给模型着色，是一款适合制作人或动物形象等没有严格尺寸限制的灵活形状的软件。123D Sculpt 仅提供 iOS 版（iPad）。

图 123D Sculpt




## 123D Creature

123D Creature 是最适合建模生物（Creature）形象的软件。流程为先构筑生物的骨架，然后像黏土手工艺者那样不断调整形状并着色。这款软件也仅提供 iOS 版（iPad）。

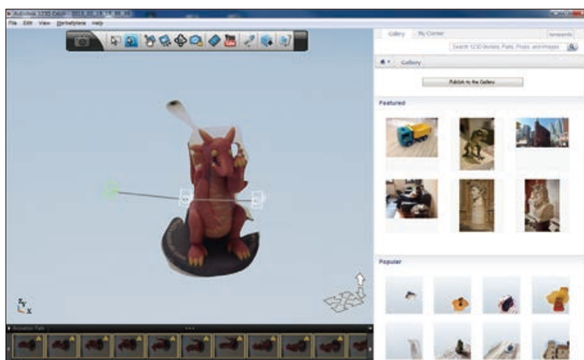
图 123D Creature



## 123D Catch

123D Catch 是将若干幅各种角度的照片（20~40 张）合成为 3D 模型的软件。iPhone 或 iPad 版可以直接在软件上合成照片并做成 3D 形状，以外还可以上传照片后，在 PC 版和网页版的 123D Catch 软件中制作 3D 形状。

图 123D Catch



## 123D Make

123D Make 是 123D 产品系列中唯一一款专门用于将已有 3D 数据转换成物理层面物品的软件（即专门用于输出）。这款软件可以把已经做好的 3D 模型转换为可以由激光切割机进行切割的截面形状并输出。使用这个数据切割出截面图样后，把这些截面叠加在一起即可做出简易的 3D 模型（参照下图中的右图）。

图 123D Make

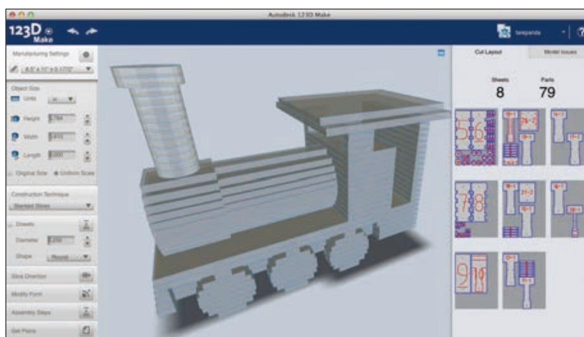
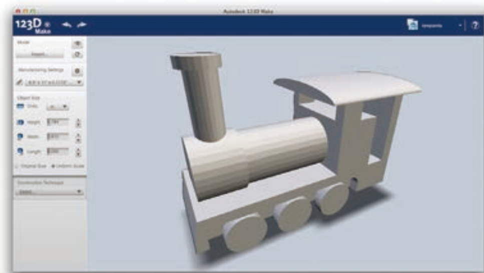
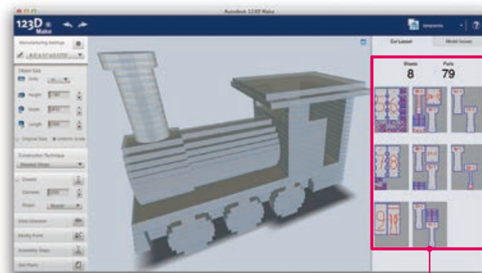



图 123D Make 制作的截面效果

123D Design 制作的火车机车的 3D 数据



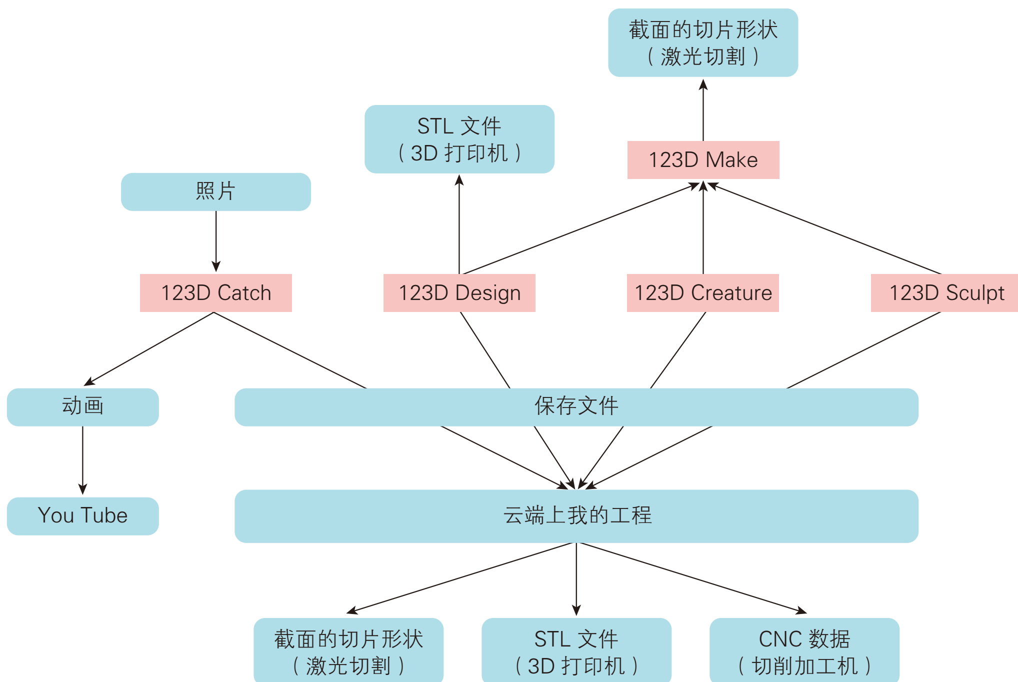

将 3D 形状切片后截面叠加起来的形状




用激光切割机按此图样切割

如上所述，Autodesk 123D 提供了各种软件，而且这些软件相互间可以交换数据，这样就可以提高 3D 建模和制造工序的效率。其中，各软件的关系如下图所示。

图 Autodesk 123D 产品系列关系图

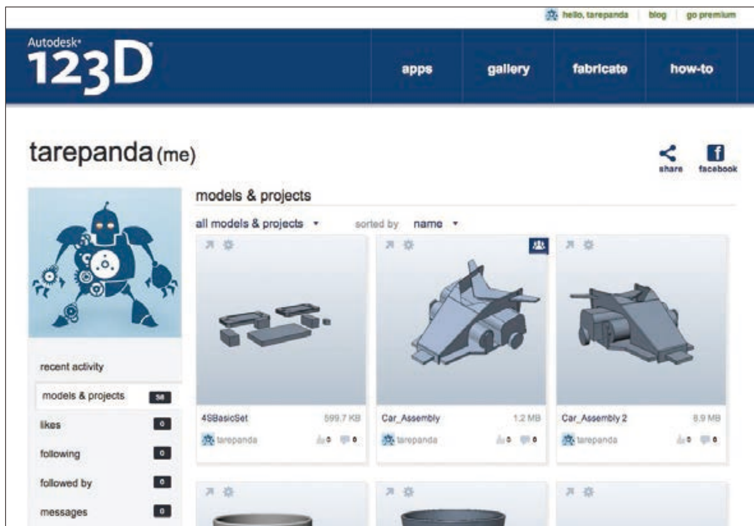



## 3.1.3　云端数据管理

做好的 3D 模型或 STL 文件既可以保存在自己的电脑上，也可以上传至 123D Design 云端上自己的账户内。

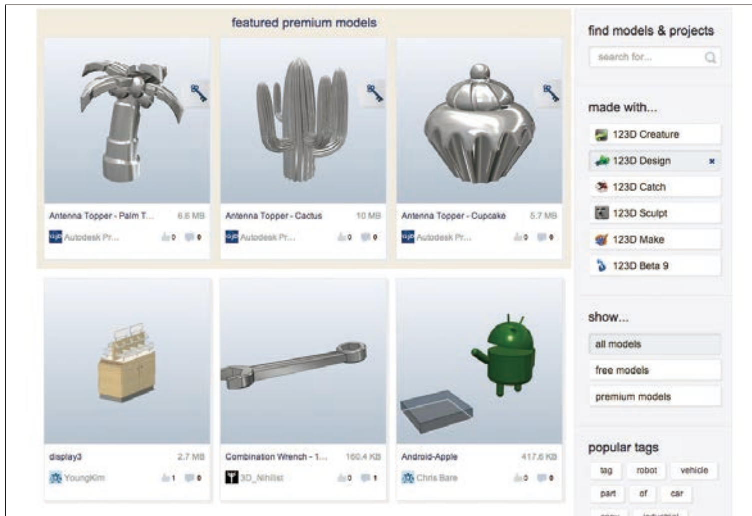
用户只要登录账户，就可以使用 Windows、Mac、iPad 等各种平台访问已经上传的文件。而且只要使用的是 Autodesk 123D 系列产品，就可以直接打开或保存这些文件。也就是说，用户可以通过上传 3D 数据，把 Autodesk 公司的云当成自己私人的外部存储设备。

图 ■ 笔者自己云端账户中的数据




另外，也可以开放部分数据与其他用户共享，设定为共享的文件可以在被称为“展廊”的专区中找到。

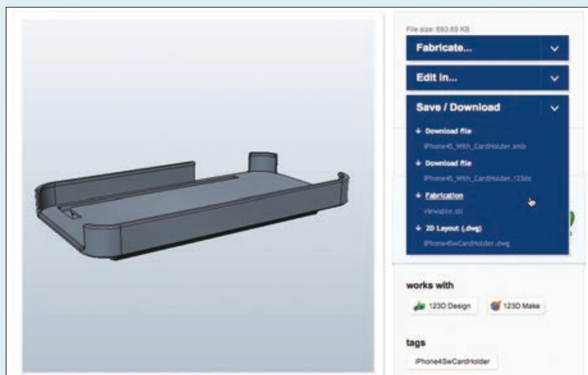
图 ■ 123D Design 的展廊



提示

由于在展廊上传 3D 数据就会自动生成 STL 文件，所以这里可以下载到 3D 打印机使用的 STL 文件。如果在详细信息页中点击 Fabricate 键还可以制作出用于切削加工的数据。这些内容将在第 7 章中详细介绍。

图 ■ 可以直接从展廊输出




专栏

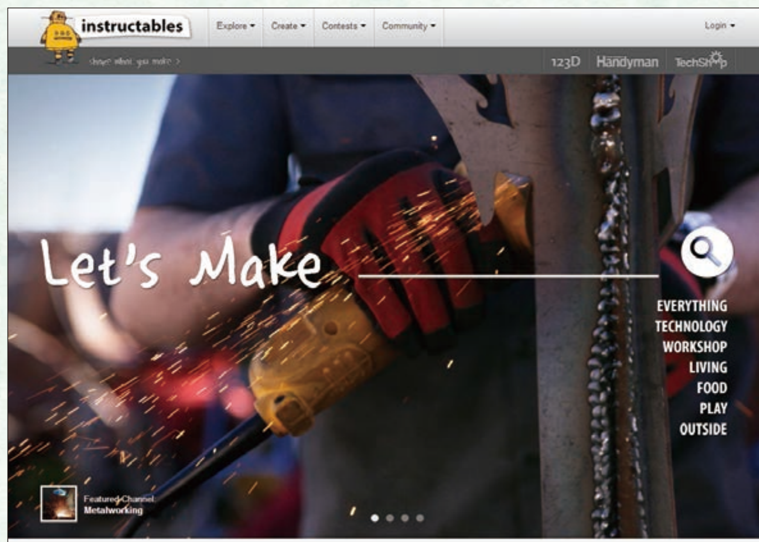


## 使用云端服务

现阶段可以保存在云端的文件个数和大小还没有限制，但预计到 2013 年某一时刻最大保存容量将限制在 100MB 以内。届时，如果升级成年费 99.99 美元（约合人民币 600 元）的贵宾用户，最大容量则可升至 25G，而且预计贵宾用户还可以享受 100 美元份额的 3D 打印成型服务等多种优惠待遇。

另外，预计这种贵宾用户还可以使用 Instructables（提供 DIY 相关技巧的网站）的收费会员账户。※

图 ■ Instructables




URL www.instructables.com/

※ 目前网站提供三种用户方式，其中免费用户对上传文件个数和大小没有限制，且提供一些其他的免费服务。除此之外还提供了贵宾用户和顶级用户两种收费用户可供选择。详情请参考 https://www.123dapp.com/gopremium#free——译者注

第3章

# 3.2 安装 123D Design

下面介绍实际安装 123D Design 的方法。123D Design 是从网上下载后再安装的。

## 3.2.1 123D Design 的系统配置要求

请事先确认自己电脑的系统配置是否满足以下要求（截至笔者执笔时）。

表 123D Design 的系统配置要求（PC 版）

| 系统配置 | Windows | Mac OS X |
| --- | --- | --- |
| 操作系统 | Windows 7<br>（32bit 版或 64bit 版） | Mac OS X 10.7 以上[①] |
| CPU | Intel Pentium4 或 AMD Athlon64 以上且主频为 2GHz 以上 | 64bit 版因特尔处理器[②] |
| 内存 | 2GB 以上（最小 1.5GB） | 3GB 以上（建议 4GB） |
| 硬盘 | 可用空间至少 1.5GB | 可用空间至少 2.5GB（建议 3GB） |
| 显卡 | 图形处理能力为 Direct3D 9 或 10 | 显示器为 1280×800 真彩（建议 1600×1200 真彩） |

无论哪种系统环境都需要连接互联网，虽然不一定要随时在线，但在将数据保存到云端和下载数据等操作时需要上网。

提示

iOS 版对硬盘容量和内存大小没有明确的要求，但要求操作系统的版本为 iOS6.0 以上。

① 由于安装 Mac 版需要访问 App Store，所以低于 OS X 10.6 的版本无法安装。

② 安装 Mac 版本的硬件条件需要 Apple Mac Pro 4.1 以上、MacBook Pro 5.1 以上（建议为 MacBook Pro 6.1 以上）、iMac 8.1 以上（建议为 iMac 11.1 以上）。

专栏



### Autodesk 123D 测试版

截至 2013 年 5 月，测试版（旧版）的 Autodesk 123D 依然可以下载（仅有 Windows 版）※。由于使用 123D Design 需要 Windows7，所以使用 Windows Vist 或 Windows XP 的用户可以安装测试版。

测试版 Autodesk 123D 的用法稍微复杂一些，相比 123D Design 来说更接近专业 3D CAD 的操作环境，其系统配置要求如下。

表 Autodesk 123D（测试版）的系统配置要求

| 系统 | Windows |
|---|---|
| 操作系统 | 安装以下任意一种操作系统的 Windows PC<br>• Windows 7（32bit 或 64bit）<br>• Windows Vista（32bit 或 64bit）<br>• Windows XP Professional 或 Home Edition（SP3）<br>• Windows XP Professional x64Edition（SP2）<br>• Windows Server 2008 |
| CPU | Intel Pentium 4 或 AMD Athlon 64 以上 |
| 内存 | 1GB 以上（建议）。最低 512MB 也可以运行，但为保障操作流畅建议为 1GB |
| 硬盘 | 可用空间至少 1.5GB |
| 显卡 | 图形处理能力为 Direct3D 9 或 10 |

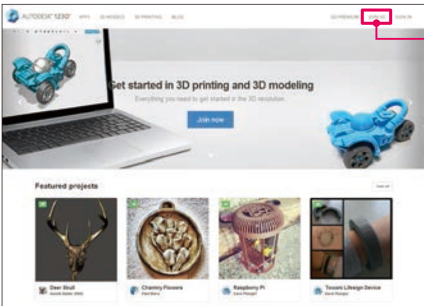
※　目前官方网站已不再提供测试版的下载。——译者注

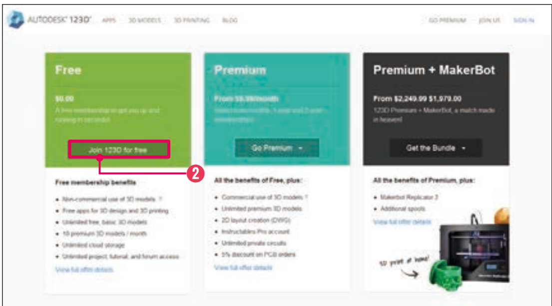
## 3.2.2　123D Design 的下载和安装

请按照如下步骤下载并安装 123D Design①。

### 步骤 1

安装 123D Design 需要有一个 Autodesk 账户，如果不登录直接开始安装则会在安装过程中切换到登录画面，所以需要先创建一个账户。访问 Autodesk 123D 的官方网站，点击页面右上角的 [join us] ❶，然后选择画面最左侧的 [join 123D for free] ❷。




URL www.123dapp.com/

① 本小节针对 123D Design 最新（2014 年 5 月）的下载页面和中文版式做了相关调整。——译者注

提示

从 Autodesk 123D 的官方网站不仅可以下载并安装 123D Design，还可以安装 Autodesk 123D 系列的其他软件（参见本书 3.1.2 节）。另外，也可以通过该网站访问云端。

## 步骤 2

创建账户需要填写的内容如图所示。

输入相关内容后点击最下方的 [ 创建账户 ] 按钮❸，就可以完成创建了。

创建帐户

返回登录屏幕

名字

姓氏

电子邮件地址

确认电子邮件地址

Autodesk ID

您的 Autodesk ID 以后不能更改

密码

确认密码:

密码必须包含 8-12 个字符，至少 1 个数字和 1 个字母

我希望接收来自 123dapp.com 的电子邮件通信，包括有关新产品和特殊优惠的信息。

我同意123dapp.com服务条款并同意根据 Autodesk 隐私声明(包括该声明中描述的跨境转移)使用我的个人信息。

创建帐户 ❸

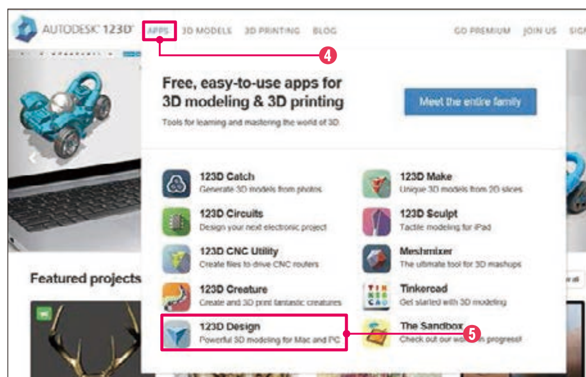
提示

使用 Facebook 或 Twitter 等社交网站的账户也可以登录，但本书介绍的是使用电子邮箱和密码创建账户的方法。

## 步骤 3

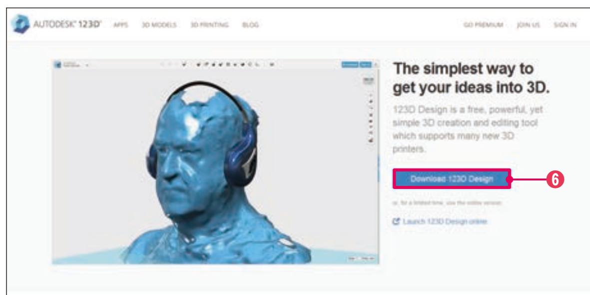
使用创建好的账户登录后下载 123D Design。

点击菜单栏中的 [apps] 项❹，选择其中的 [123D Design] ❺。



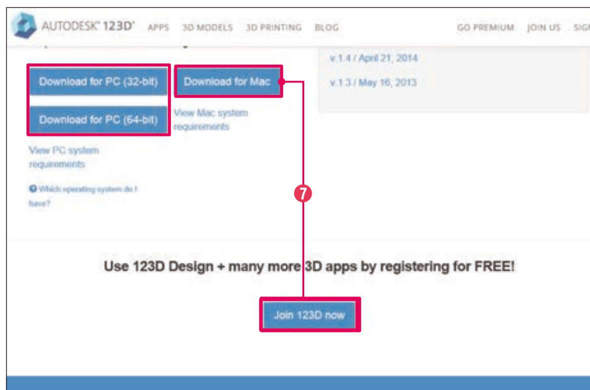
## 步骤 4

点击图中画面的 [Download 123D Design] ❻。




## 步骤 5

这时会显示如右图所示的画面，在这里点击 [View PC system requirements] 或 [View Mac system requirements] 会显示系统配置要求（参见本书 3.2.1 节），请确认后选择相应的操作系统❼。




## 步骤 6

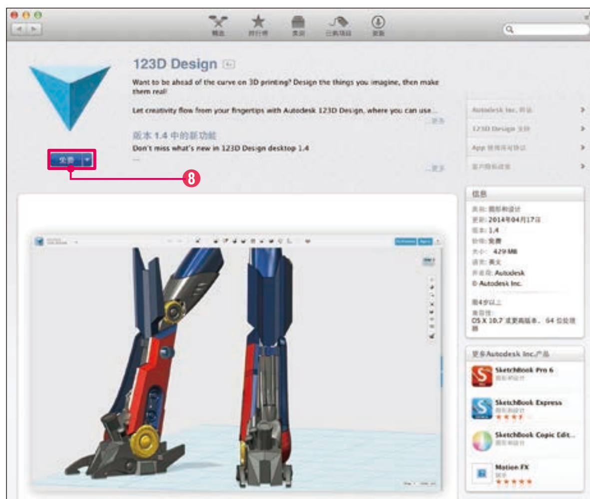
Windows 版的点击画面左侧的 [Download for PC（32-bit）] 或 [Download for PC（64-bit）] 按钮后就开始下载安装文件，文件大小约为 300MB。Mac 版则会跳转到 App Store。

> 提示
>
> 如果下载 Windows 版，不能在 64bit 的操作系统上安装 32bit 的版本，如果强行安装会提示出错，所以请选择与自己机器匹配的版本。

## 步骤 7

Mac 版会显示应用商店，在应用商店里点击 [ 免费 ]→[ 安装应用 ] 按键❽，下载 123D Design 软件。

> 警告！
>
> 前面的内容里也曾提示过，Mac 版的操作系统要求不低于 Mac OS X 10.7。




第3章 123D Design 的基本操作

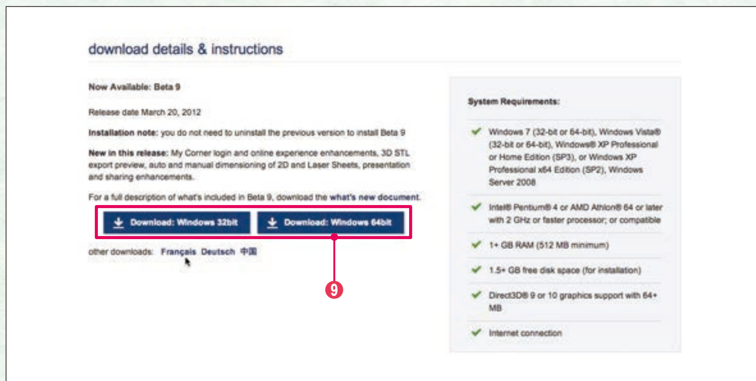


## 使用测试版（旧版）的 Autodesk 123D※

专栏

如果您使用的操作系统为 Windows Vista 以下的版本，则无法使用 123D Design。这时需要使用测试版的 Autodesk 123D。如果要下载测试版本，则在之前的平台选择画面中选择 [looking for 123D Beta 9]，之后会显示选择 32bit 或 64bit 的画面，请根据情况选择❾。

图 ■ 下载测试版（旧版）Autodesk 123D



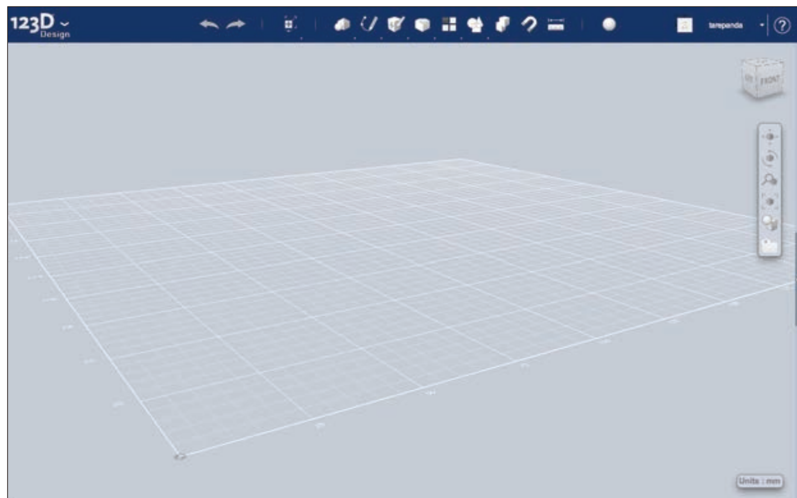

※　目前官方网站已不再提供测试版的下载。——译者注

## 步骤 8

下载结束后双击执行文件即可开始安装。安装过程中按照提示操作即可。

安装完成后 Windows 会在桌面生成快捷方式的图标，Mac 版则会在 Application 中生成 123D Design 项目。点击即可启动 123D Design 软件。

如果正常启动则会显示如下 Look and Feel 的用户界面。





## 数据制作的相关用语




本书在介绍 3D 建模时，使用了“3D 数据”“模型”“实体”等词语来表述制作的形状及数据。这些词语虽然没有明确的定义，但为了便于读者理解，本书在介绍时对它们做了如下区分。有的时候还会使用比较模糊的表达，但基本上都是指 3D CAD 中制作的数据，所以请根据前后文的内容判断具体所指。

| 用语 | 解释 |
|---|---|
| 3D 数据 | 指使用 3D CAD 制作的数据的整体。绝大多数情况下指已保存的文件 |
| 模型 | 指使用 3D CAD 制作的立体形状。通常在表述整体已完成的形状时使用这个词 |
| 实体 | 指使用 3D CAD 制作的单体的形状或零件。由于 123D Design 是采用实体方式的建模工具，所以称其制作的形状为实体（参见本书 2.1.2 的内容） |

技术要点



## 关于Windows版本的软件启动错误

对于 Windows 版，有时会出现软件无法启动并提示如下信息的问题。

The application is unavailable.
We’re sorry, there was an error while initializing the graphics subsystem.
This is likely due to one or more of the following: your graphics driver is not configured for "True Color", there was a problem installing the application, the application installation was damaged, or some other problem with the graphics hardware and drivers or the configuration of the application.
More detailed information may be included below.

出现这个提示信息通常是因为 DirectX 的 runtime 出现了问题，所以在这种情况下可以从以下地址下载并安装文件，然后尝试再次启动 123D Design。

● DirectX最终用户运行时web安装程序

URL http://www.microsoft.com/zh-cn/download/details.aspx?id=35

或访问微软公司的下载中心，检索“DirectX 运行时”，然后下载下图中最上面的那一项⑩来解决问题。由于微软公司的网页经常有变化，所以请结合检索功能来寻找。

图 ■ 微软公司的下载中心




URL http://www.microsoft.com/zh-cn/download/default.aspx

第3章

# 3.3 开始操作 123D Design 吧！

下面我们就开始实际使用 123D Design 来建模吧。首先简单介绍一下 123D Design 各种指令的功能和作用。

## 3.3.1 123D Design 的用户界面

首先我们来看 123D Design 的用户界面整体。和其他 CAD 软件相比自不必说，即使和大部分软件相比，123D Design 的用户界面也要简洁得多。

图 ▪ 123D Design 的用户界面

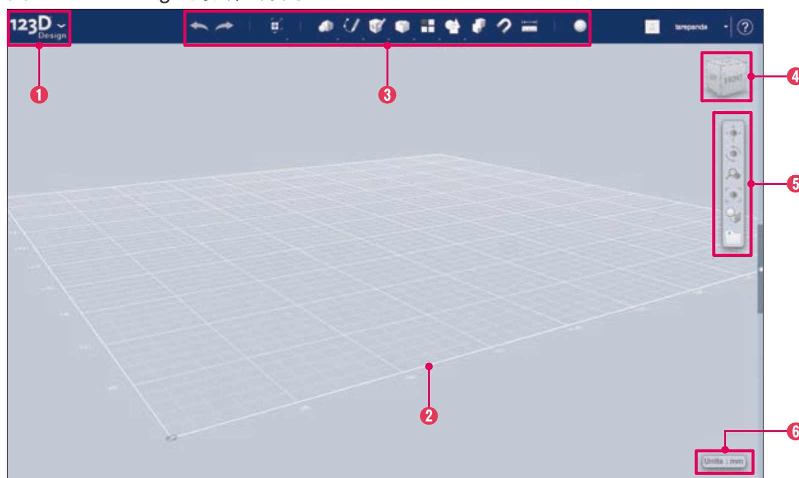



表 ▪ 123D Design 用户界面的组成

| 组成部分 | 说明 |
|---|---|
| ❶应用菜单 | 保存文件、输出 STL 文件等操作文件的指令集合。但如果要将文件保存至云端则需要事先通过画面右上角的 [Sign in] 链接在云端登录 |
| ❷建模区域 | 实际制作形状的区域 |
| ❸指令菜单 | 用于在建模区域建模的指令群，建模中需要使用的指令都汇集在这里 |
| ❹ View Cube | 改变视角（模型的显示角度）的功能。只需点击立方体的面和角等即可改变模型的朝向。另外，也可以拖动鼠标改变模型的朝向 |
| ❺显示菜单 | 切换模型的显示方法和显示状态 |
| ❻单位（Units） | 设定使用的单位 |

## 3.3.2 应用菜单的内容

点击用户界面左上角的应用菜单就会显示很多子菜单。由各菜单项的名称可知，点击这些菜单项就可以实现新建文件、保存正在操作的文件、读写文件等操作。

不需要马上熟记所有的菜单项，因为这个菜单十分常用，自然而然就会从最常用的几个开始逐渐记住所有的项目。

图 ■ 应用菜单

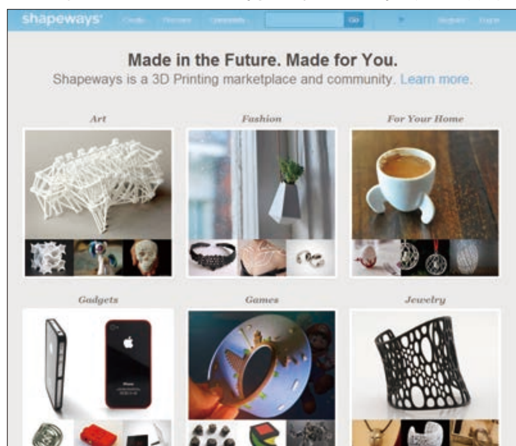



表 ■ 应用菜单的内容

| 菜单项 | 说明 |
|---|---|
| New | 新建 123D Design 文件 |
| Open | 打开已有的 123D Design 文件。可以打开的文件格式有以下 5 类<br>● 123D Design 的文件（后缀：.123dx）<br>● 测试版 123D 的文件（后缀：.123d）<br>● 123D 格式的网格数据（后缀：.123c）<br>● STEP 格式（后缀：.stp）<br>● SAT 格式（后缀：.sat） |
| Insert | 在已打开模型的基础上导入其他的模型。用于完成一个模型时导入其他已做好的模型并将它们组合在一起的情况 |
| Save | 用于覆盖保存现有文件。可以选择保存在本地计算机或云端我的工程中 |
| Save a Copy | 用于另存现有文件。可以选择保存在本地计算机或云端我的工程中 |
| Order a 3D Print | 将我的工程中所保存的数据直接发送给与 Autodesk 123D 合作的打印成型服务商并委托他们打印（参见本书 7.2 节）。由于这些服务都不是由 Autodesk 公司提供的，所以需要另行注册账户 |
| Send to 123D Make | 将文件先保存在我的工程中，然后使用网页上（在线）的 123D Make（参见本书 3.1.2–5 的内容）功能将其转换成用于激光切割的切片数据 |
| Send to CNC Utility | 使用网页上（在线）的 CNC 应用工具将保存在我的工程中的文件转换成美国产小型切削加工机 ShopBot Desktop 或 ShopBot Buddy 所使用的加工轨迹[①]。使用这个轨迹可以进行切削加工 |
| Export | 为制作好的模型生成 STL 文件（参见本书 7.1 节），这是使用 3D 打印机必需的文件 |
| Exit | 退出 123D Dwsign |

① ShopBot Desktop 及 ShopBot Buddy 为美国 ShopBot Tools 公司的切削加工设备。
URL: www.shopbottools.com/mProducts/desktop.htm

图 ■ 与 Autodesk 123D 合作的 3D 打印成型服务（示例）



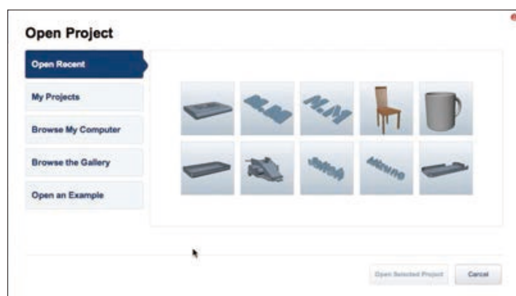

URL www.shapeways.com



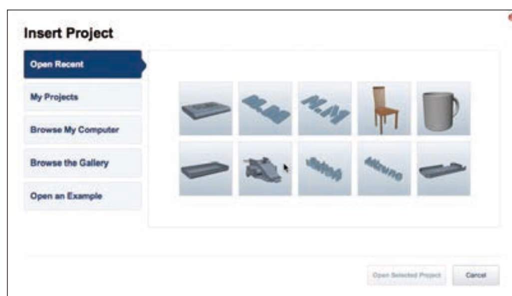

URL i.materialise.com

部分子菜单还分别有二级子菜单，以另外的窗口或层级菜单的形式显示。下面简单介绍一下各二级子菜单，读者可以在实际操作 123D Design 时再逐一确认。

图 ■ 各二级子菜单示例



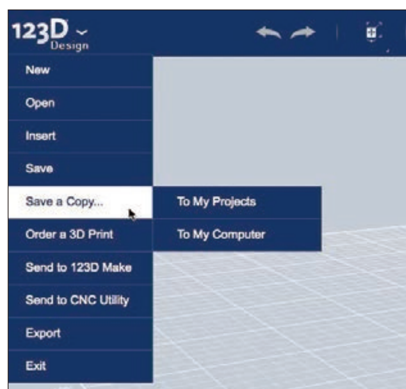

[Open] 菜单的子菜单




[Insert] 菜单的子菜单




[Save] 菜单的子菜单




[Save a Copy] 菜单的子菜单

表 ■ [Open] 菜单的子菜单

| 菜单项 | 说明 |
| --- | --- |
| Open Recent | 打开最近使用过的文件 |
| My Projects | 打开云端我的工程内保存的文件 |
| Browse My Computer | 打开我的电脑中的文件 |
| Browse The Gallery | 使用 123D 网站上公开展廊（参见本书 3.1.3 节）的文件 |
| Open an Example | 打开事先准备的示例文件 |

表 ■ [Insert] 菜单的子菜单

| 菜单项 | 说明 |
| --- | --- |
| Open Recent | 插入最近使用过的文件 |
| My Projects | 插入云端我的工程内保存的文件 |
| Browse My Computer | 插入我的电脑中的文件 |
| Browse The Gallery | 插入 123D 网站上公开展廊（参见本书 3.1.3 节）的文件 |
| Open an Example | 插入事先准备的示例文件 |

表 ■ [Save] 菜单的子菜单

| 菜单项 | 说明 |
| --- | --- |
| To My Projects | 将文件保存在云端我的工程中 |
| To My Computer | 将文件保存在我的电脑中 |

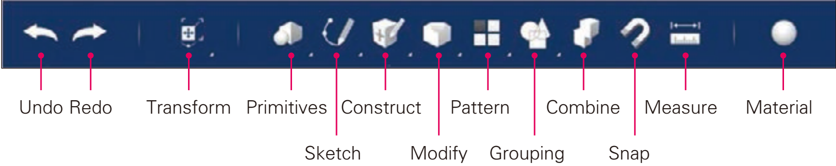
表 ■ [Save a Copy] 菜单的子菜单

| 菜单项 | 说明 |
| --- | --- |
| To My Projects | 在云端我的工程内保存文件副本 |
| To My Computer | 在我的电脑中保存文件副本 |

## 3.3.3 指令菜单的内容

为了熟练地进行 3D 建模，需要掌握指令菜单中的各项指令。本书会在下一章介绍各项指令具体的用法，在这里先把所有指令大致梳理一下。

图 ■ 指令菜单



## Undo/Redo

Undo/Redo 为撤销上一步操作（Undo）和撤销后再恢复（Redo）时使用的指令。Undo 指令也可以由键盘快捷键来完成（Windows 为 Ctrl 键 +Z 键，Mac 为 Command 键 +Z 键）。

## Transform

Transform（转换）为改变已有形状的位置、或扩大缩小时使用的指令。而且使用该指令在变换位置时还可以改变朝向。

图 ■ Transform

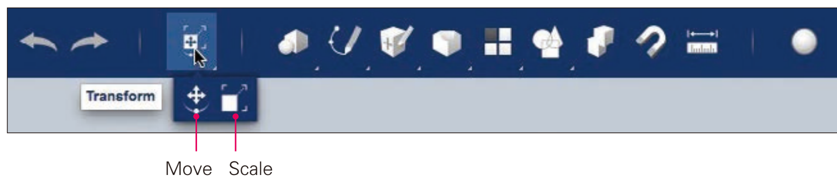


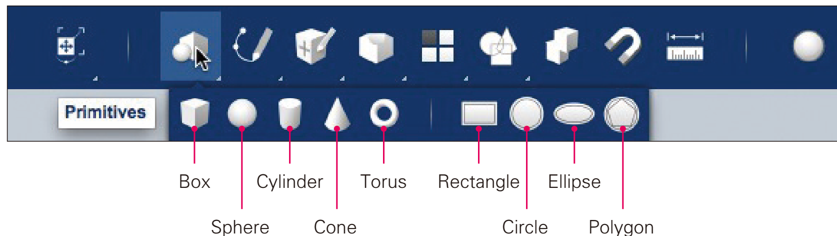

表 ■ Transform 的 2 个指令（从左至右）

| 指令 | 说明 |
| --- | --- |
| Move（移动） | 移动已做好的实体的指令 |
| Scale（缩放） | 将已做好的实体扩大或缩小的指令 |

## Primitives

Primitives（图元）是制作基本形状的指令。可以选用的立体基本形状有 Box（立方体）、Sphere（球）、Cylinder（圆柱体）、Cone（圆锥）、Torus（面包圈状）。平面则可以选用 Rectangle（长方形）、Circle（圆）、Ellipse（椭圆）、Polygon（多边形）。制作比较简单的形状时使用 Primitives 可以减少很多基本作业。

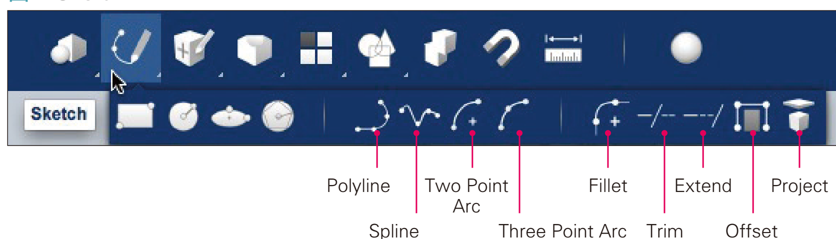
图 ■ Primitives




## Sketch

Sketch（草图）这是在特定平面上画出形状的指令，可以说是在实体建模工具中构建 3D 模型时最基本的指令。多数 3D 建模在制作立体形状时都是①先在平面上画出形状，②然后再以某种形式把这个平面形状转换成立体形状。

图 ■ Sketch




长方形、圆、椭圆、多边形与 Primitives 中的平面指令相同，虽然这两类指令的操作过程稍有不同，但生成的形状相同，所以可以自由选用。

长方形、圆等基本形状以外的其他形状可以使用中央的 4 种线形来完成。可选的线形有 Polyline（折线）、Spline（样条曲线）、Two Point Arc（圆弧，定义中点和两端）、Three Point Arc（圆弧，定义 3 点），共 4 种。

位于右侧的 5 个指令用于具体编辑已经画出来的线形。

表 ■ 编辑已绘线形的指令（从左至右）

| 指令 | 说明 |
|---|---|
| Fillet（倒圆角） | 按照指定半径将角削圆的指令 |
| Trim（修剪） | 去除线形多余部分的指令 |
| Extend（延伸） | 将线形向指定方向延伸的指令 |
| Offset（偏移） | 复制已有的线形并按照指定的距离移动的指令，对于直线来说是制作平行线，对于圆来说即为制作同心圆 |
| Project（投影） | 将画好的线投影到其他面来生成线形的指令 |

## Construct

Construct（造型）是用草图制作立体形状的指令。可以说这是一组最具有 3D CAD 软件特点的指令群。Construct 的 4 个指令是 3D CAD 建模最基本的方法，也就是说只要掌握了这 4 个指令，使用 3D CAD 建模就很轻松了。

图 ■ Construct

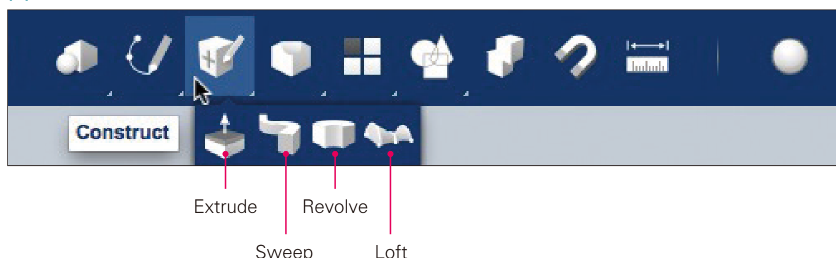
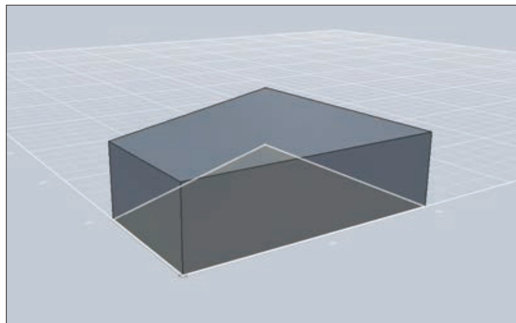


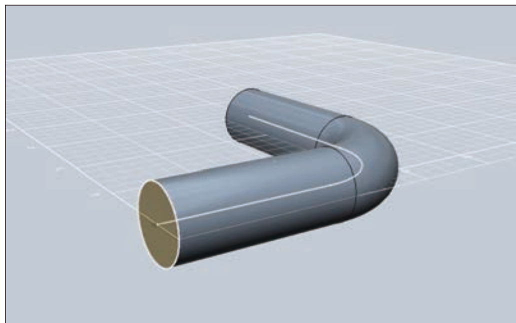
表 ■ Construct 的 4 个指令（从左至右）

| 指令 | 说明 |
|---|---|
| Extrude（直推） | 通过将任意平面沿直线方向推出而形成立体形状的指令。例如直推长方形即成长方体、直推圆形即成圆柱体。也可以用这个指令打孔 |
| Sweep（扫轨） | 使某个截面沿轨道移动而形成立体形状的指令。使圆沿 U 型轨道移动即成 U 型的筒 |
| Revolve（旋转） | 使截面以某条线为轴旋转而形成立体形状的指令。如果以长方形的某一边为轴旋转即为圆柱体，如果在长方形外的地方设轴旋转则成为圆筒 |
| Loft（放样） | 通过串联多个截面而形成立体形状的指令 |

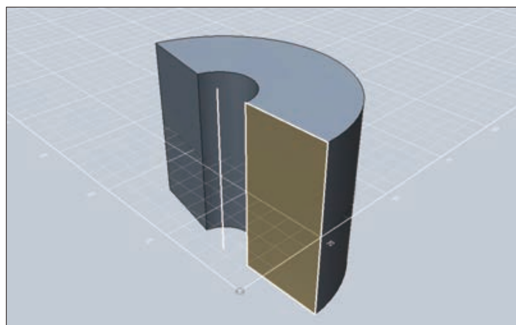
图 ■ Construct 指令的使用示例



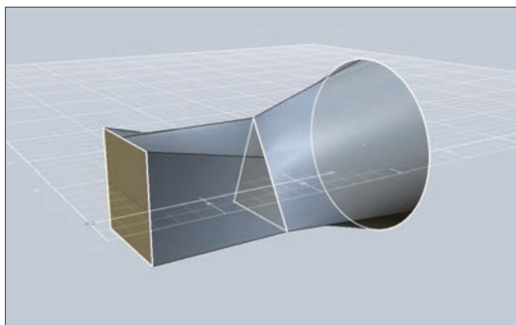
Extrude：直推截面而形成实体



Sweep：使截面沿任意轨道移动而形成实体



Revolve：使截面以某一轴为中心旋转而形成实体



Loft：串联任意截面而形成实体

## Modify

Modify（修改）指令群用于修改已经做出的形状，包含了 7 种指令。位于左侧的 3 个为执行基本操作的指令，中间两个为修改形状的角的指令，右侧 2 个为直接修改实体本身的指令。

图 ■ Modify

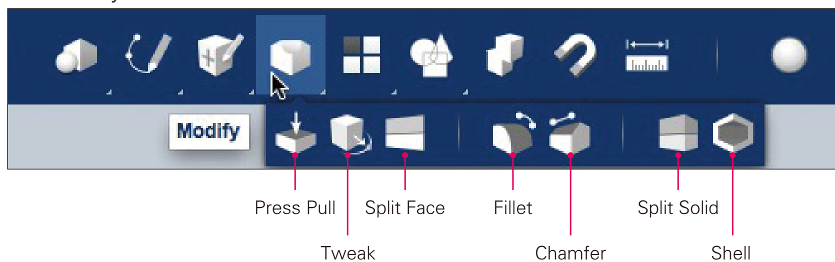
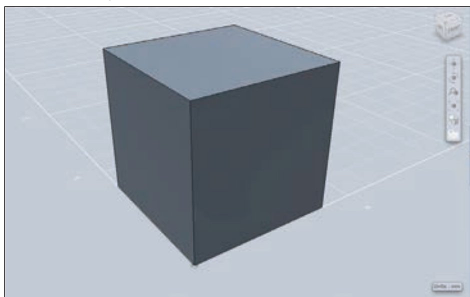
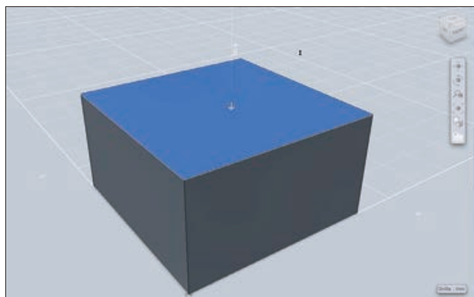


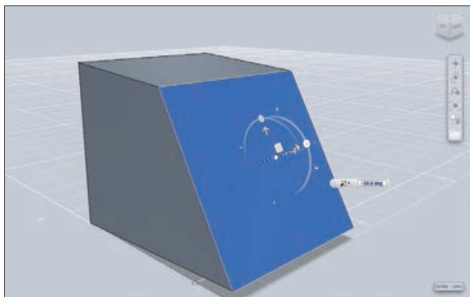

表 ■ Modify 的 7 个指令（从左至右）

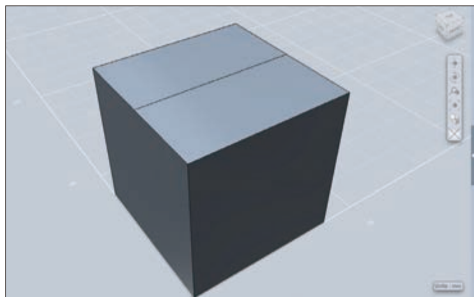
| 指令 | 说明 |
|---|---|
| Press Pull（按 / 拉） | 移动任意面的指令。例如将圆柱体的顶面 Press 则圆柱体变矮，Pull 则圆柱体变高 |
| Tweak（倾斜） | 使任意面倾斜的指令。例如将圆柱的顶面 Tweak 则顶面呈椭圆形、类似吸管尖头的效果 |
| Split Face（切面） | 在任意的面上投影特定的线来切分该面的指令 |
| Fillet（倒圆角） | 将边缘以一定的 R 角削圆的指令。很多工业产品使用 R 角这个概念 |
| Chamfer（倒角） | 将角按照指定的大小呈直线切下的指令 |
| Split Solid（分割） | 相对于 Split Face 指令只切分面，这个指令将实体本身分割为两部分或多部分，操作方法与 Split Face 指令相同 |
| Shell（抽壳） | 将实体内部挖出的指令。例如如果选择在长方体的某个面使用这个指令，则该面被挖开，形成指定厚度的箱体 |

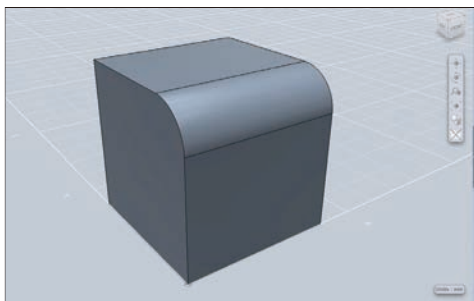
图 ■ Modify 指令的使用示例

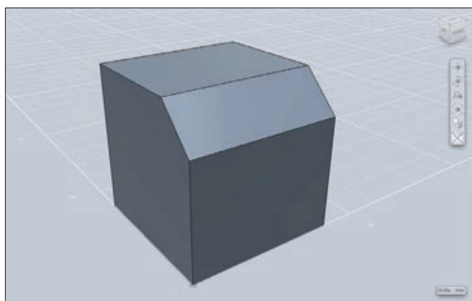

原始形状

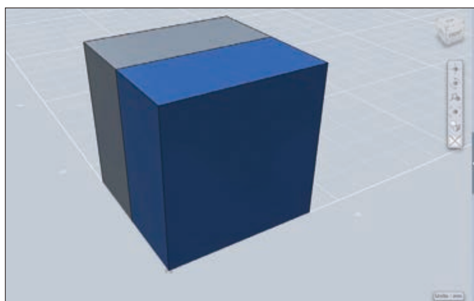

Press Pull：可以按压、拉伸指定的面来改变高度

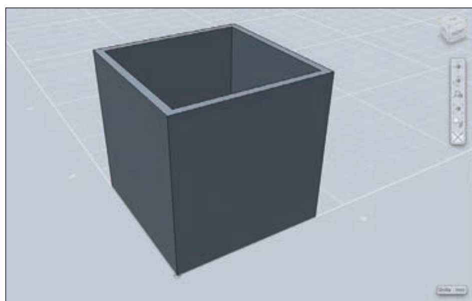

Tweak：区别于按压或拉伸某面，而是改变该面倾斜的角度等


Split Face：切分任意面


Fillet：以任意半径倒圆角


Chamfer：以任意长度切角（倒角）


Split Solid：切割实体


Shell：挖空任意面呈箱体状

## Pattern

Pattern（阵列）指令是将同样的形状按照一定的阵列复制时使用的指令群，使用这个指令可以省去反复制作同样形状的麻烦。Pattern 包含 4 个指令。

图 Pattern

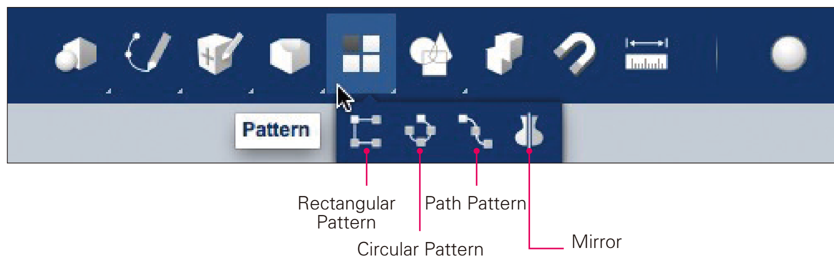
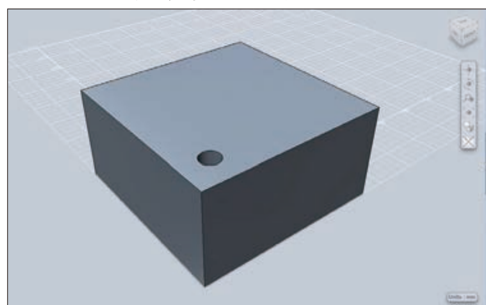
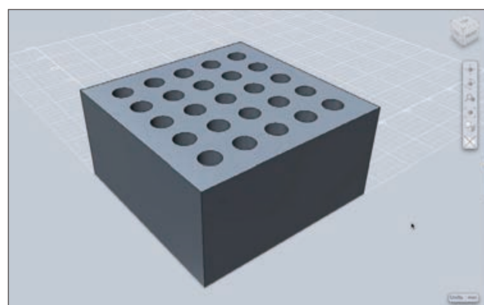



表 Pattern 的 4 个指令（从左至右）

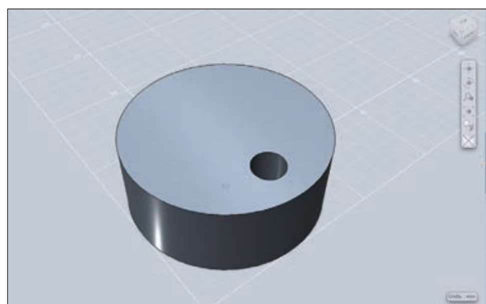
| 指令 | 说明 |
| --- | --- |
| Rectangular Pattern（矩形阵列） | 指定直排的两个方向（也可以只是 1 个方向），按照直线上的一定间隔复制形状的指令 |
| Circular Pattern（圆形阵列） | 沿任意轴（或沿着圆）按照一定间隔复制任意数量形状的指令 |
| Path Pattern（轨道阵列） | 沿任意轨道将形状按照一定间隔复制的指令 |
| Mirror（镜像） | 以任意面为镜面制作镜像形状的指令 |

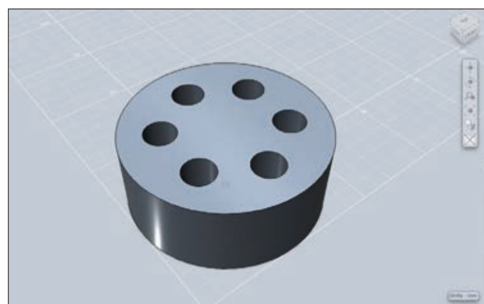
图 ■ Pattern 指令的使用示例



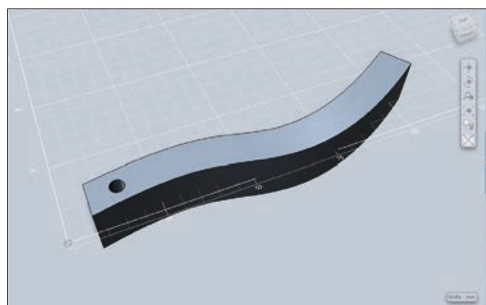


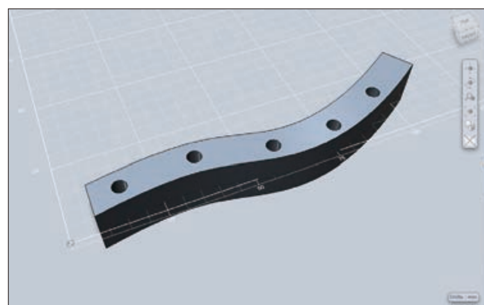
用 Rectangular 指令复制。在大箱体上按照边缘的方向等距打孔。



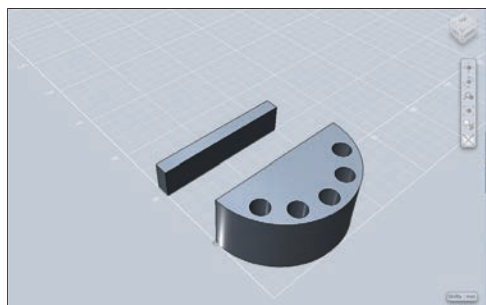


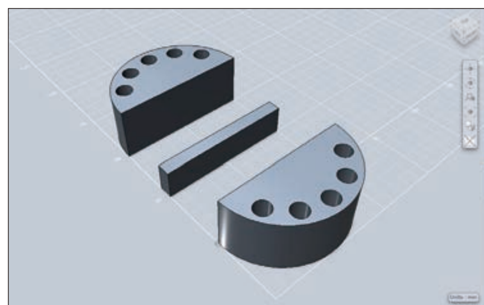
用 Circular 指令复制。在圆的轴周围（按圆周方向）等距打孔。





用 Path 指令复制。在箱体上以曲线边缘为轨道等距打孔。





Mirror（镜面）复制。将长方体的一面定义为镜面复制已打孔的半圆柱体。

## Grouping

Grouping（组合）为将多个实体结合为一组进行处理的指令。多个组还可以再次进行组合。这个指令不仅可以组合，还可以解除组合，各实体在组合后也还是保持各自独立的。

图 Grouping

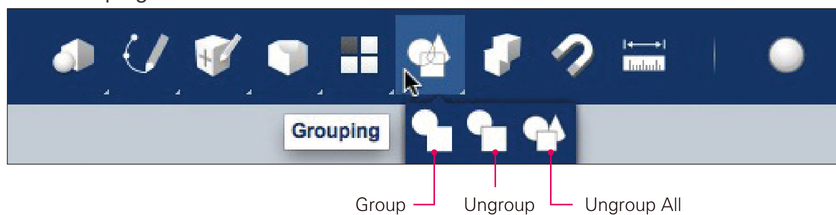
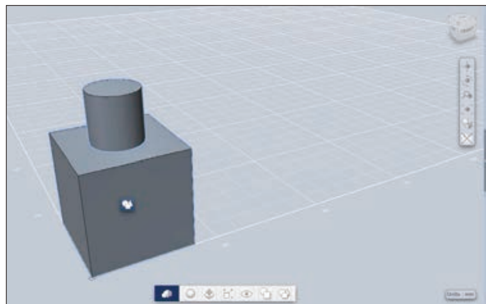
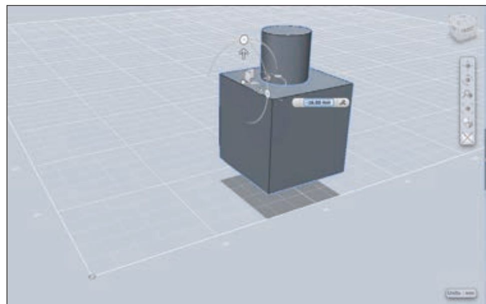



表 Grouping 的 3 个指令（从左至右）

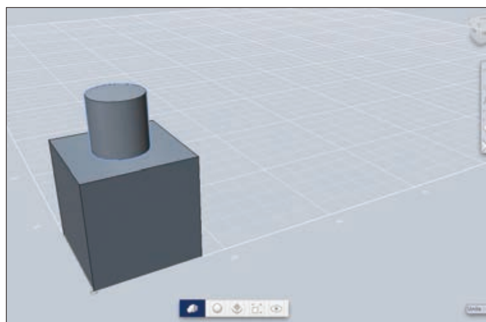
| 指令 | 说明 |
|---|---|
| Group（组合） | 组合多个实体 |
| Ungroup（解除组合） | 解除已组合的实体 |
| Ungroup All（解除所有组合） | 解除所有组合，包括已经呈嵌套状态的组合 |

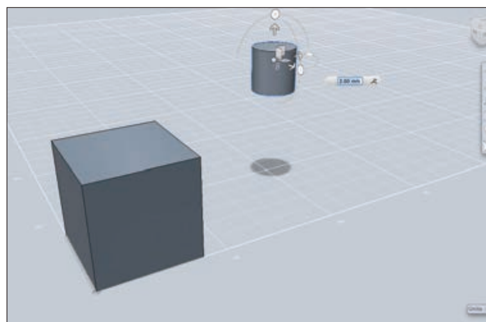
图 Grouping 指令的使用示例





组合后整体呈高亮状态，移动任意的实体则整体一起移动。





解除组合后仅有被选中的实体为高亮状态，该实体单独移动。

## Combine

Combine（结合）是将多个实体结合为 1 个实体的指令。Grouping 指令是将多个实体合为一组，原来每个实体的单位依然保留，而 Combine 则是完全结合为一个实体。

Combine 不仅可以将多个实体加合成为一体，还可以做从一个实体上减去另外一个实体的运算或是仅取两个实体重合的部分（交叉）。这个指令在有的软件中称为布尔运算（集合运算）。

图 Combine

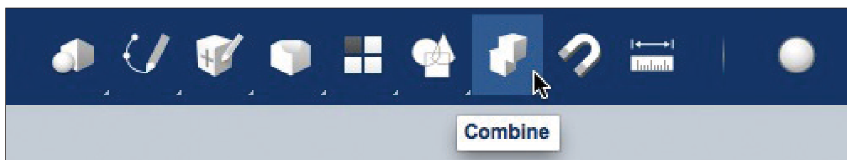
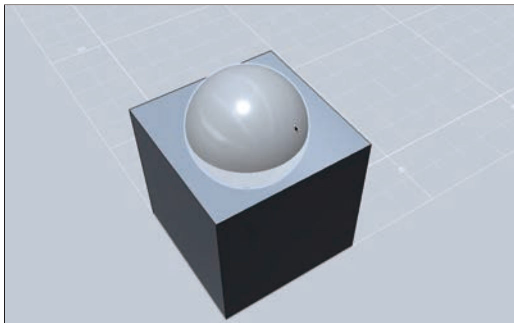
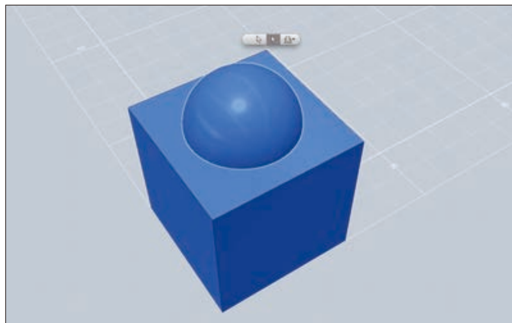


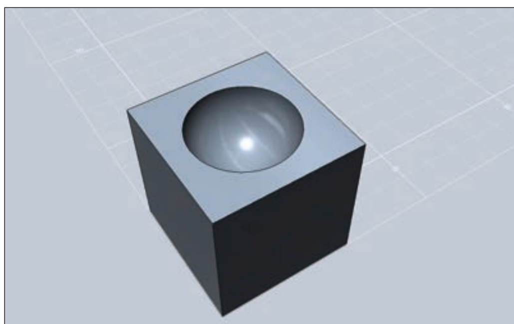

图 Combine 指令的使用示例



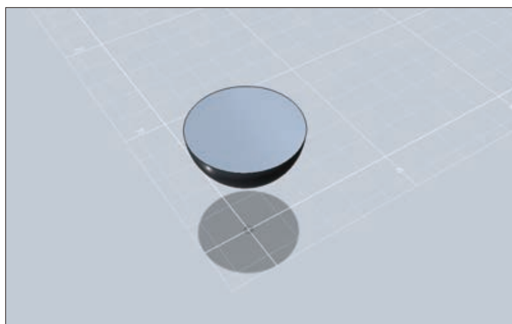
原始的形状为半个球形有一半埋在立方体中，这个状态下是两个形状是各自独立的主体。



如果使用 Combine 的加法选项，则形成立方体上突出半球形的一个主体。



如果使用减法选项，则形成重合部分的半球形被挖去的形状。

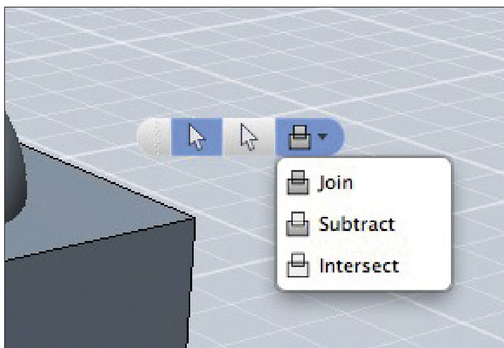


如果使用交叉选项，则只剩下重合部分的半球形状。

### 执行 Combine 指令

Combine 指令与其他指令不同，在指令菜单下并没有子菜单，而是执行指令时会如图所示在画面中弹出子菜单，在这里指定处理内容。可选项有 Join（加法）、Subtract（减法）、Intersect（交叉）3 种。

图 执行 Combine 指令




## Snap

Snap（捕捉）指令是将某个实体贴在其他主体上的指令。这个指令可以选择粘贴的面，但不能控制粘贴的具体位置。例如将一个实体贴在另一个实体上则会贴在指定面的中央位置。当然粘贴并不是完全固定在这个位置，粘贴后也是可以自由移动的。

图 Snap

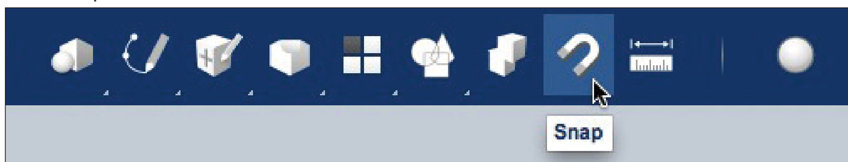
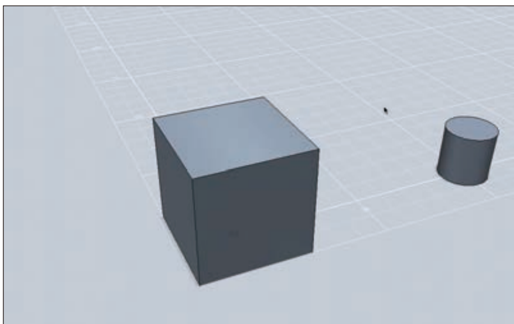
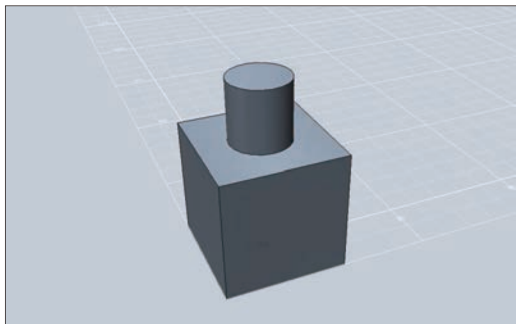



图 Snap 指令的使用示例



捕捉前

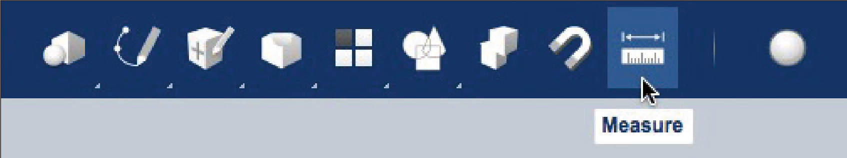


捕捉后

## Measure

Measure（测定）为测定任意形状长度、角度及面积的指令。在专业 3D 建模中，经常会出现必须要测定零件与零件之间的距离和零件的大小、角度等情况，这时使用的就是 Measure 指令。

图 ■ Measure




〔执行 Measure 指令〕

Measure 指令与 Combine 指令同样在指令菜单下没有子菜单，执行 Measure 指令时会在画面中弹出如图所示的对话框，可以在这里选择任意图标进行测定。

图 ■ 执行 Measure 指令

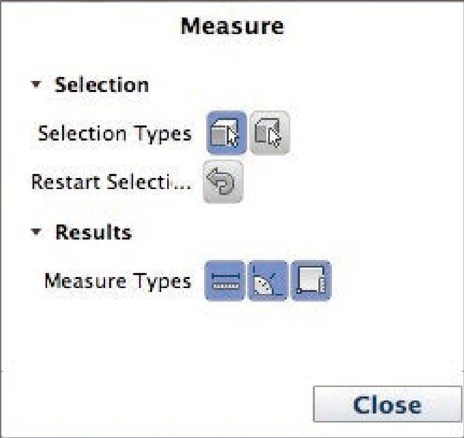
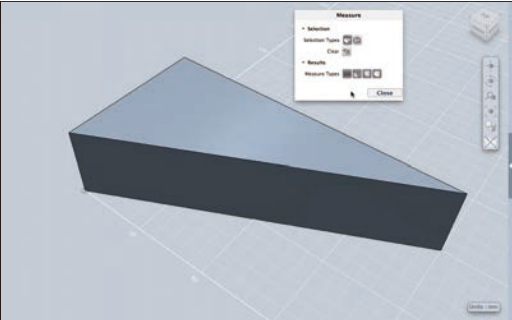


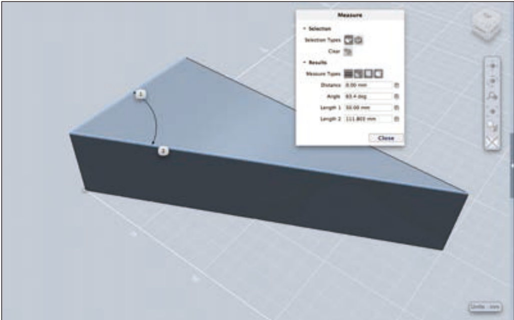

表 ■ Measure 指令的对话框

| 选项 | 说明 |
| --- | --- |
| Selection Types | 默认选择左侧的 [Surface/Edge/Vertex]（面 / 边 / 顶点）。在测量多个实体的最短距离时可切换到右侧的 [Body] |
| Restart Selection | 重新选择 |
| Results | 显示的结果。默认将 [Distance/Angle/Area]（距离 / 角度 / 面积）全显示出来，显示的项目可以使用 Measure Types 图标指定 |

图 ■ Measure 指令的使用示例



确认边的长度



确认边之间的夹角

## Material

Material（材质）为将预设的材料质感赋予实体的指令。

图 ■ Material

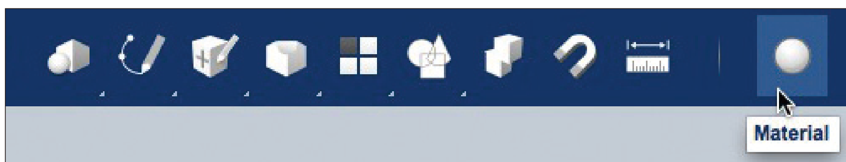
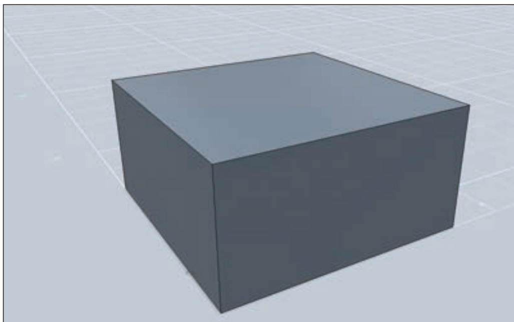
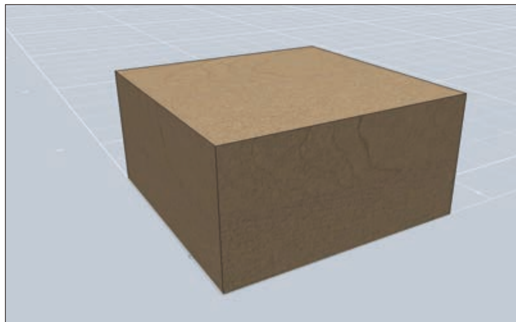



图 ■ 材质定义示例



默认的标准显示

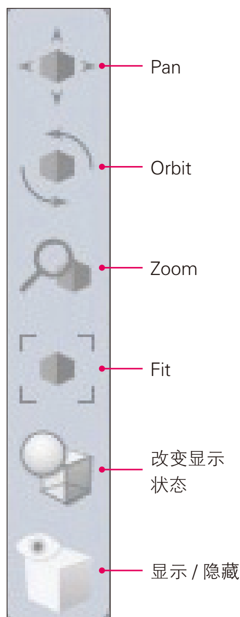


定义为枫木材质的效果

## 3.3.4 显示菜单

如图所示在指令菜单的右下方还有显示菜单。在 3D 建模时，用户可以根据需要，频繁改变物体的朝向、放大及缩小物体或改变其显示状态等，而这类操作需要使用的就是显示菜单。

图 ■ 显示菜单

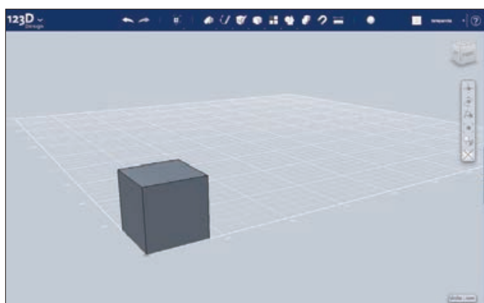


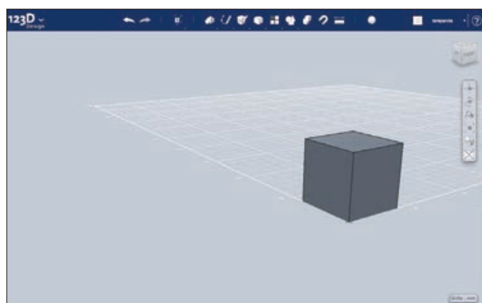

> 提示　关于显示菜单，在实际操作中通常会使用鼠标操作或键盘快捷键来切换，下面在介绍各菜单项时会分别介绍其对应的鼠标操作和快捷键，以供大家参考。

### Pan

选择了 Pan（摇摄）后，如果按住鼠标左键上下左右移动鼠标，画面也会随之上下左右移动。

图 Pan



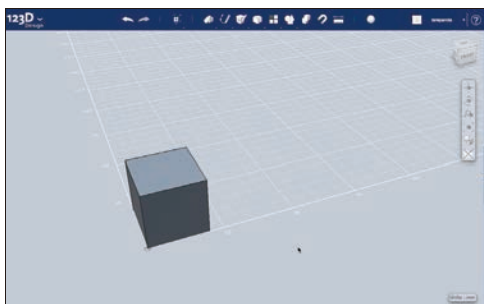


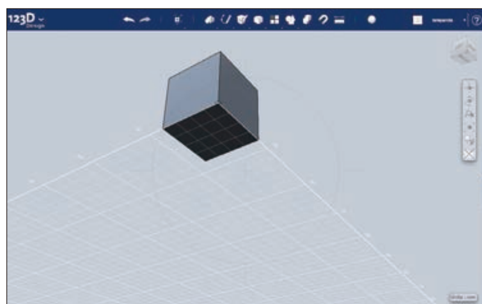
选择 Pan 后移动鼠标，画面会随鼠标移动。

## Orbit

选择 Orbit（追踪）后实体可以转动。鼠标操作为按住右键移动鼠标。

图 Orbit



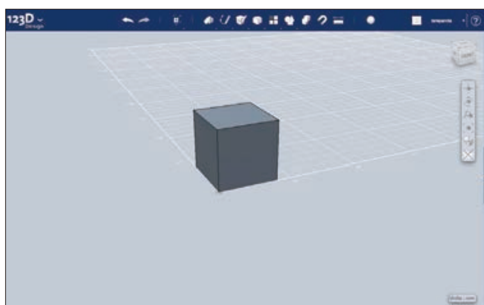


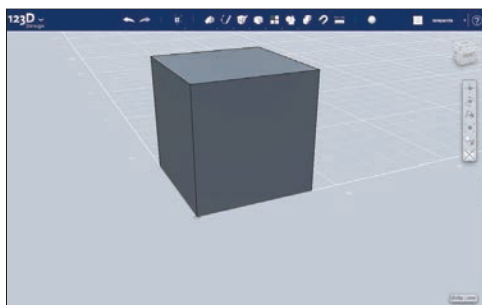
选择 Orbit 后移动鼠标，画面会随鼠标旋转。

## Zoom

选择 Zoom（镜头）后可以扩大或缩小画面。鼠标操作为转动滚轮。

图 Zoom





选择 Zoom 后转动鼠标滚轮，画面随滚轮转动扩大或缩小。

## Fit

选择 Fit（适应）后，实体就会显示在画面的中央。虽然 Zoom 也能完成同样的操作，但 Fit 指令可以单步实现，所以在想将实体充满画面时比较方便。

图 ■ Fit



点击 Fit 后，实体显示在画面中央位置。

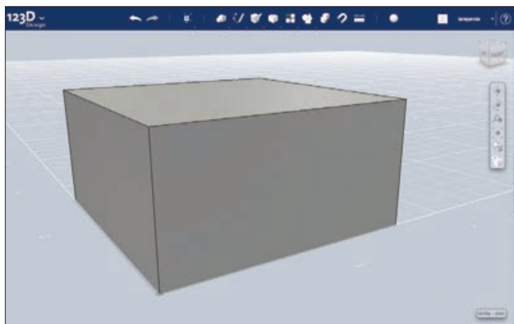
## 改变显示状态

这是改变实体显示状态的指令群。

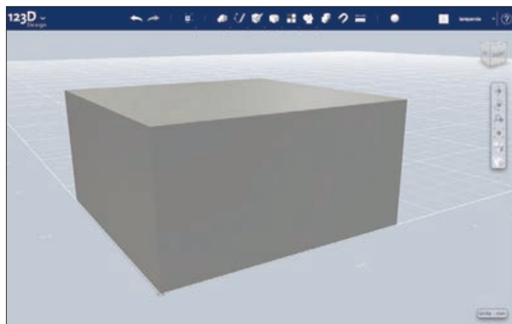
表 ■ 改变显示状态

| 指令 | 说明 |
|---|---|
| Materials & Outlines | 表面涂色并且以实线显示边 |
| Materials Only | 仅表面涂色 |
| Outlines Only | 仅显示边的框架 |

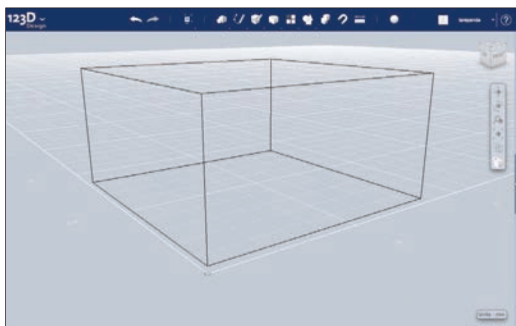
图 ■ 各种显示状态



Materials & Outlines



Materials Only




Outlines Only

通常对边和面的操作比较多，所以 [Materials & Outlines] 应该是最方便操作的状态。由于不显示边会比较美观，所以在截取已完成的 3D 模型效果图时最好是切换到 [Materials Only] 状态。[Outlines Only] 状态则多在想要选择背面的边、又不想改变画面角度的情况下使用。大家可以在操作过程中根据需要切换到最易于使用的显示状态。

## 显示 / 隐藏

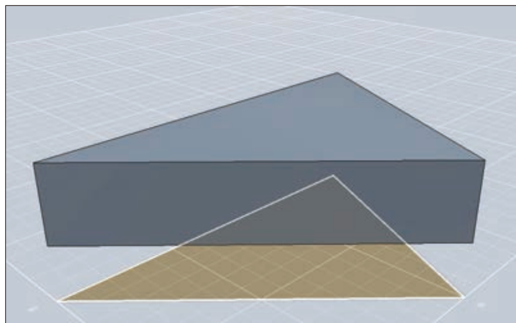
显示 / 隐藏包括了关于显示 / 隐藏实体（模型）及草图[①]的 4 个指令。

表 ■ 显示 / 隐藏的指令

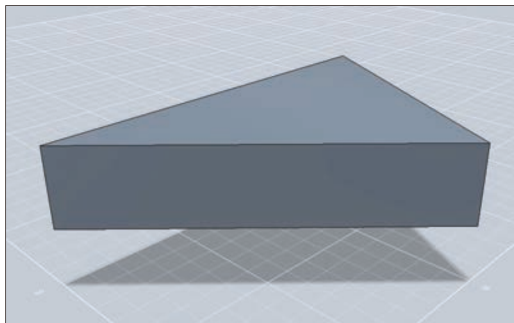
| 指令 | 说明 |
|---|---|
| Show Solids | 显示隐藏的实体 |
| Hide Solids | 隐藏当前显示的实体 |
| Show Sketches | 显示隐藏的草图 |
| Hide Sketches | 隐藏当前显示的草图 |

另外，如果没在菜单中选择隐藏，那么草图会一直显示，所以在某个草图完成任务后选择将其隐藏会便于操作。而且这有别于删除草图，可以随时恢复显示，所以十分方便。

图 ■ 显示 / 隐藏



Show Sketches（显示草图）



Hide Sketches（隐藏草图）

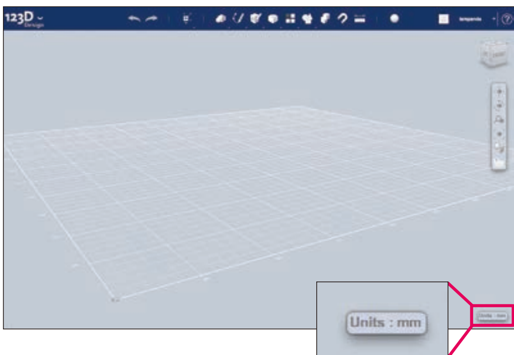
① 草图是指在制作实体时使用的平面上的线形图，相关内容在下章进行实际 3D 建模的过程中会详细介绍。

## 3.3.5 单位

如果选择位于画面右下方显示为 [Units：mm] 的图标则可以改变建模时使用的单位（Units）。默认单位为 mm，还可以指定 cm 和 in。

如果单位指定为 mm，数字 1 就相当于 1mm，单位指定为 in 则相当于 1in。请大家根据自制 3D 模型的大小来指定合适的单位。

图 改变单位

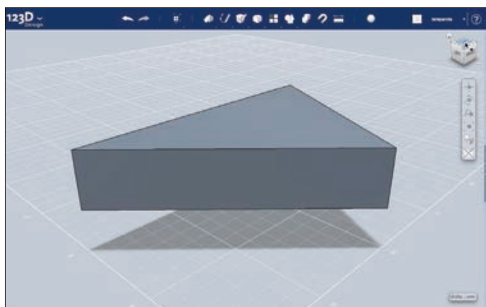





## 3.3.6 View Cube（改变视角的立方体）

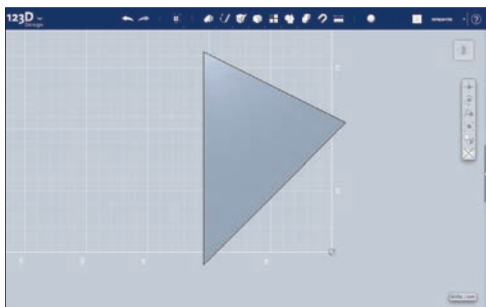
点击画面右上方 View Cube 立方体的 TOP 或 FRONT 等 6 个面，就可以在依次将视角变为上面、下面或斜向 45° 等。另外，还可以点击这个立方体角的边或顶点。

图 View Cube 的操作



这是任意视角的状态，这种状态下如果点击 View Cube 的 TOP 则变为右图的视角。





视角切换为 TOP 顶面的状态，像之前那样点击一次 View Cube 还可以继续改变视角。

### Perspective 和 Orthographic 视图

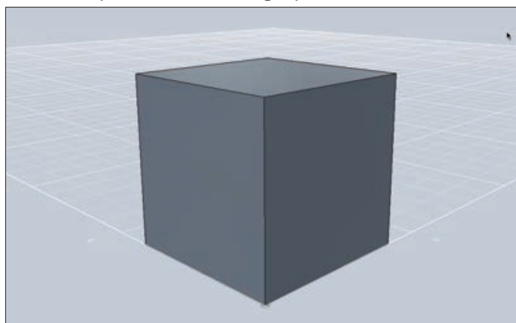
向 View Cube 的右下方移动光标则会显示一个向下的小三角形，如果点击这个小箭头就会弹出 [Perspective]（透视投影）和 [Orthographic]（正交投影）两个菜单。

这是选择 3D 物体投影方式的菜单，默认为 [Perspective]。

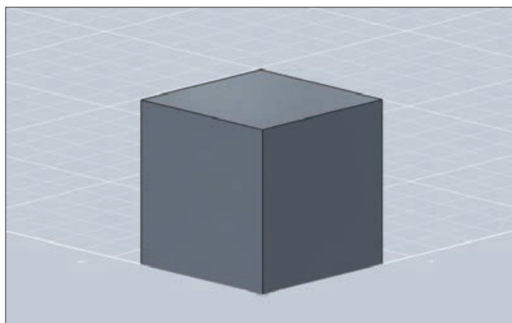
[Perspective] 通常称为透视投影。这是远近法投影，也就是近大远小的投影方法（同样长的边显示为近处的长、远处的短）。这种投影方法再现了人观察物体时比较自然的状态。

而 [Orthographic]（正交投影）是同样长的边无论远近都显示为一样长的投影方法。这种方法有利于掌握物体的相对大小。本书的介绍将选用 [Perspective]（透视投影）方式。

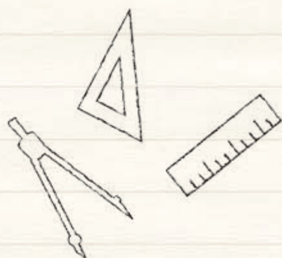
图 ▪ Perspective 和 Orthographic 视图



[Perspective] 方式的显示效果。



[Orthographic] 方式的显示效果。



# 第4章 尝试简单建模

如果掌握了上一章中讲解的基本菜单，就已经可以完成相当复杂的形状了。不过，熟练掌握这些菜单的最好办法还是自己实际操作练习，本章就将使用基本的指令来进行小件物品的建模。

第4章

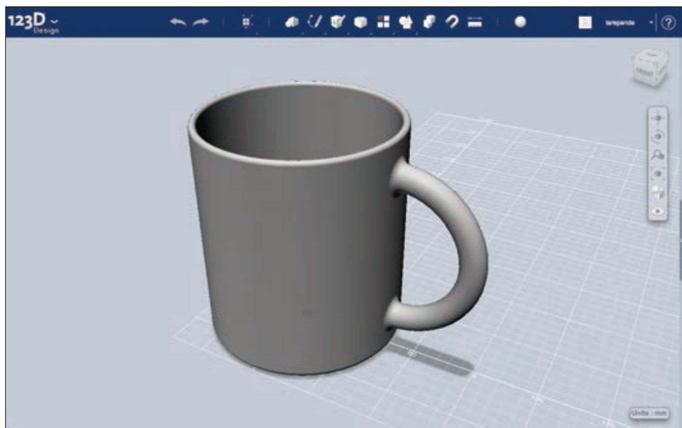
# 4.1 制作马克杯

下面我们来组合之前介绍的基本形状试做一个马克杯。做完这个你会发现，我们日常使用的很多东西都可以通过简单的形状组合来完成。

## 4.1.1 马克杯的形状

我们要制作的马克杯如下图所示，虽然形状非常简单，但通过这样的建模可以练习 3D CAD 的基本操作。

图 ■ 要制作的马克杯 3D 模型（完成图）



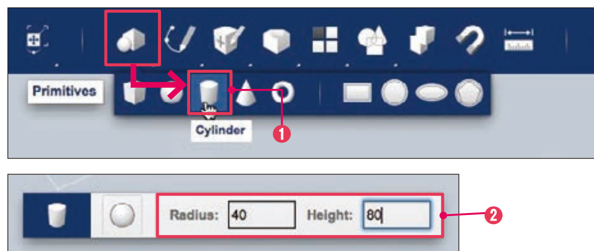
## 4.1.2 马克杯基础形状的建模

下面来看具体的步骤。首先，建模马克杯的基础形状。

### 步骤 1

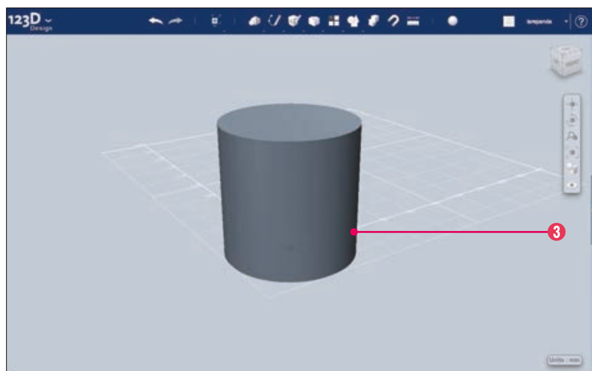
首先制作杯体的容器部分，使用的基本形状是圆柱体。

选择 [Primitives] → [Cylinder] ❶，并将画面下方的 Radius（半径）指定为 40mm，Height（高度）指定为 80mm ❷。



## 步骤 2

将圆柱体截面的中心点放置在原点❸。将 View Cube 设为 [BOTTOM]（底面）视角，即可确定原点的位置。

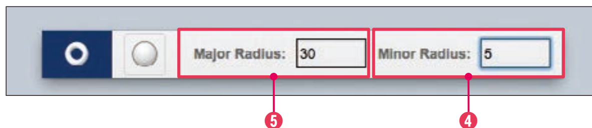



提示

可以按 Esc 键取消指令。

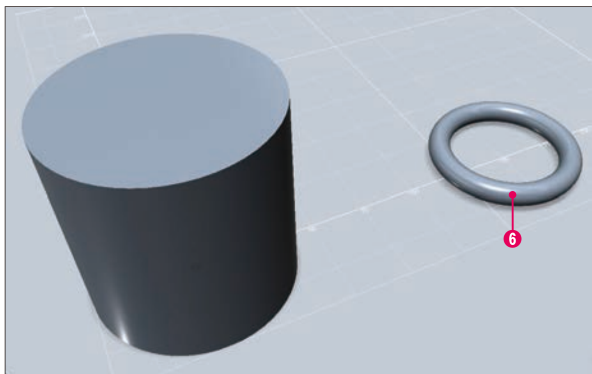
## 步骤 3

下面建模杯子把手。选择 [Primitives] → [Torus]，将 Minor Radius（环形的截面半径）设为 5mm ❹，将 Major Radius（环形的半径）指定为 30mm ❺。



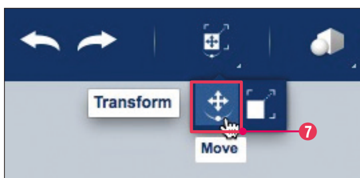

## 步骤 4

将环形的中心放置于在 X 轴（画面上从原点向右上方斜向延伸的轴）的任意位置上。这里将其设在了（0，150）的位置❻。将 View Cube 切换为 [TOP] 视角比较易于确认坐标的位置。

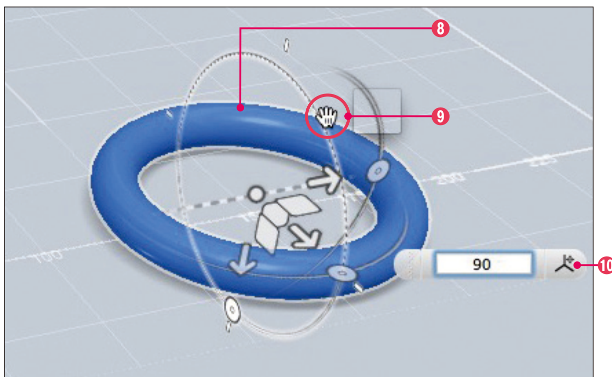



## 步骤 5

接下来改变环形的朝向使其成为杯子的把手。选择 [Transform] → [Move] ❼，点击选中环形❽。



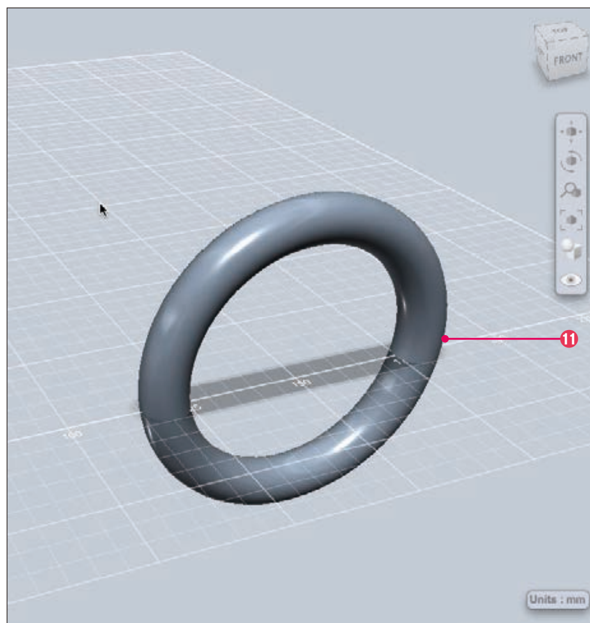

这里显示出移动导线，选中从前向后转的方向轮❾，在对话框中输入 90 ❿。




第4章 尝试简单建模

## 步骤 6

这样环形转动 90 度后就竖起来了⑪。

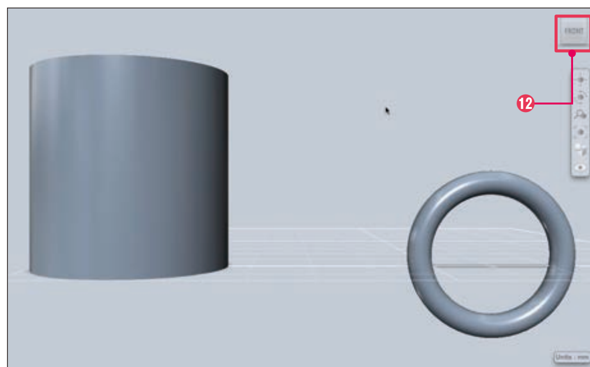



## 步骤 7

下面要把翻转过来的环形（把手）安装在圆柱体（杯体）上。

由于环形是以 X 轴为中心转动的，所以直接平移即可对准圆柱体的中央位置。

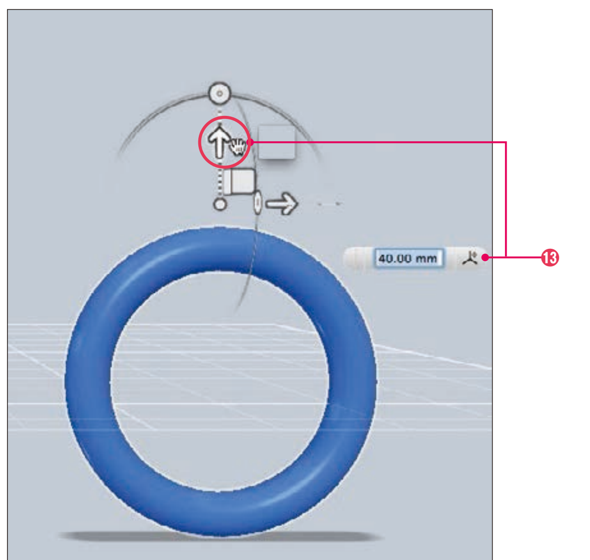
先点击画面右上叫 View Cube 的 [FRONT] ⑫，切换到正面视角的状态。




## 步骤 8

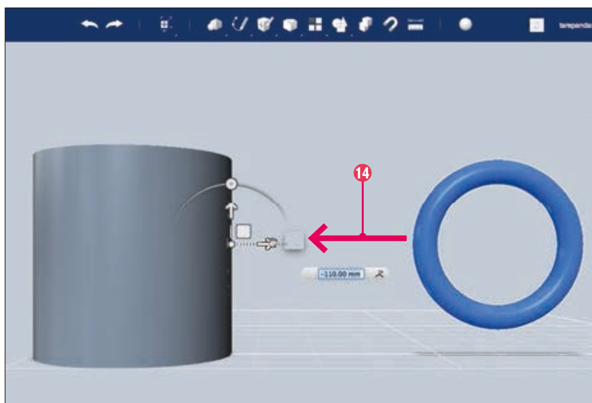
然后调整环形竖向的位置。

再次选择 [Transform] → [Move]，将环形向上移动 40mm ⑬。



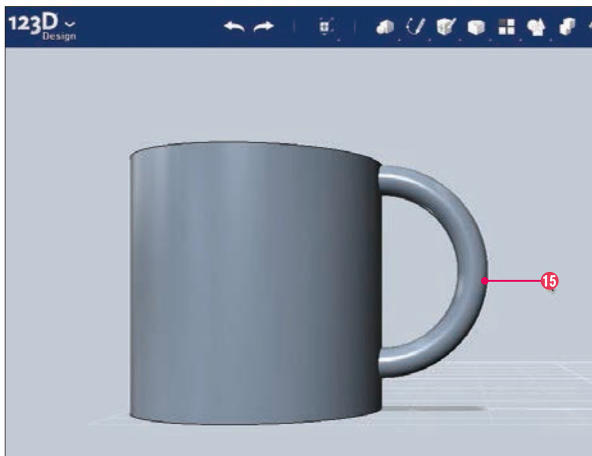
## 步骤 9

接着水平移动，即朝杯体的方向移动 110mm，呈半个环隐藏在杯体中的状态⑭。




## 步骤 10

这样杯体容器与环形的实体就重叠在了一起⑮。




> **提示**
> 如果在步骤 4 中没有将环形的中心设在（0，150mm）的位置，则这里的移动距离会有些不同。大家可以一点一点地移动来找到合适的位置。

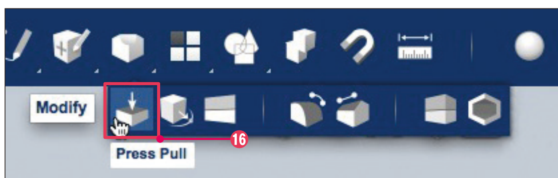
## 步骤 11

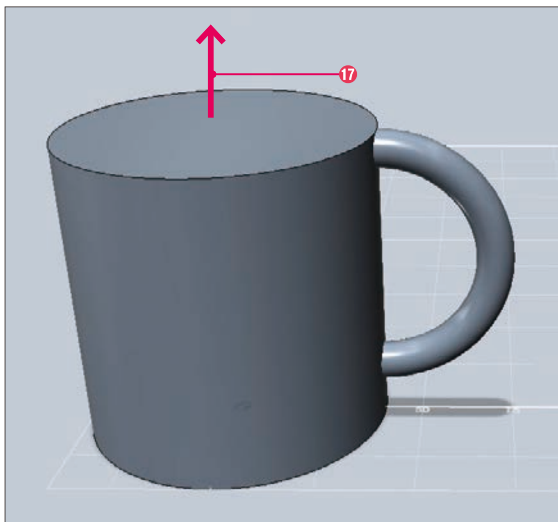
如果仔细观察会发现环形的顶部与容器的顶部重叠了，看起来不太美观，解决这个问题可以采取如下两种办法。

- 将环形稍向下移动
- 将容器的顶面稍向上拉

这里我们选择将容器顶面向上拉的方法来调整整体的效果。

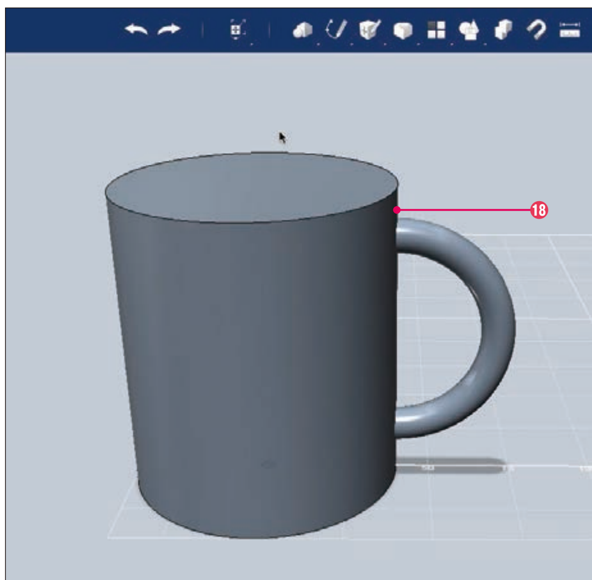
选择 [Modify] → [Press Pull]，选中容器的顶面⑯，向上提约 10mm ⑰。



## 步骤 12

这样就大体上完成了马克杯的基础形状，但建模还没有结束⑱。虽然现在看起来圆柱体与环形是一体的，但实际上在数据上二者依然是分别独立的实体，因此需要把它们结合为一体。



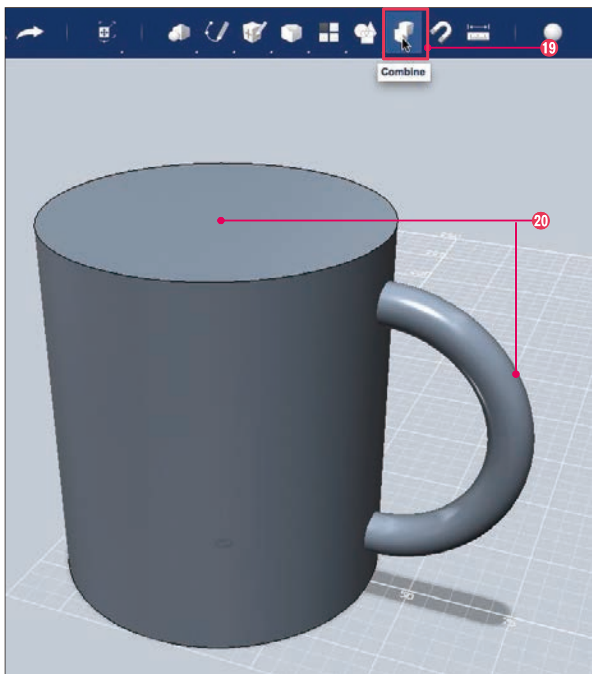

## 步骤 13

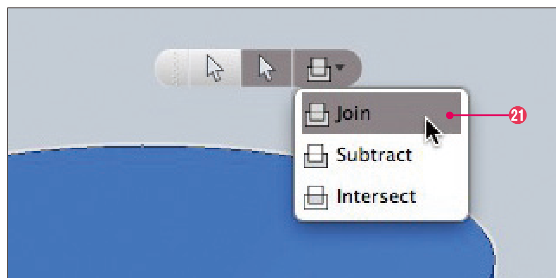
我们可以使用 [Combine] 指令将两个实体合二为一。

选择 [Combine] 后⑲，分别选中两个实体⑳。

这时会显示如图所示的对话框，请确认 [Combine] 指令的选项为 [Join] ㉑。

> 提示
>
> 如果选项为 [Join]，则选择实体的顺序不会有影响，所以先选择哪一个实体都可以。

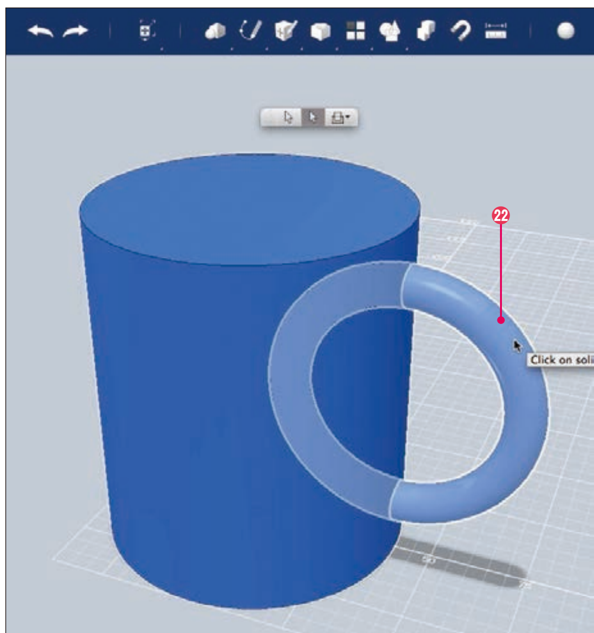


## 步骤 14

按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令，这样两个实体就结合为一个实体了㉒。

> 提示
> 在所选实体之外的区域点击鼠标左键也可以执行指令。

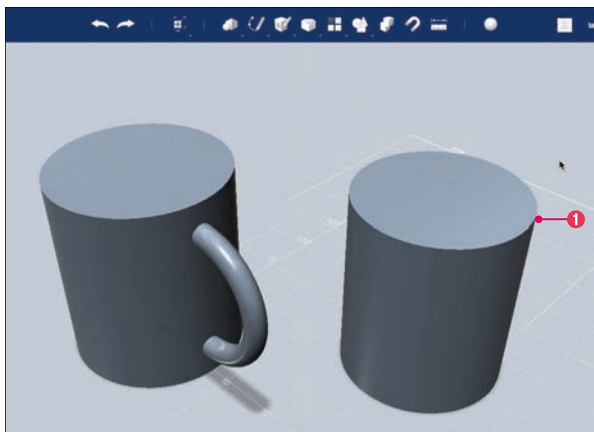



## 4.1.3 挖空马克杯的内部

下面来挖空马克杯的内部。这里将杯壁的厚度设为 3mm（包括杯底部位）。挖空的方法有不止一种，这里介绍的是 Primitives 方法。

## 步骤 1

由于杯体（圆柱体）的半径为 40mm（参见前一小节步骤 1 的设定），所以制作一个用于挖空内部的半径为 37mm、高为 87mm 的圆柱体❶，圆柱体的制作方法与前一小节中步骤 1 的方法相同。



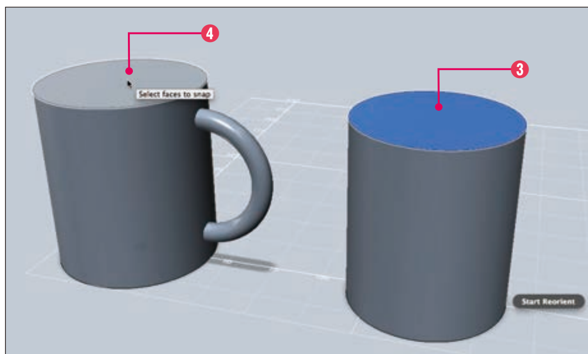

> 提示
> 挖空实体还可以使用 Extrude（直推）指令。用 Extrude（直推）指令挖空内部的方法将在本书 5.2.2 节中介绍。

## 步骤 2

然后要将用于挖空内部的圆柱体放置在容器上。

选择 [Snap] 指令❷，先点击已经做好的圆柱体的顶面❸，然后再点击容器的顶面❹。



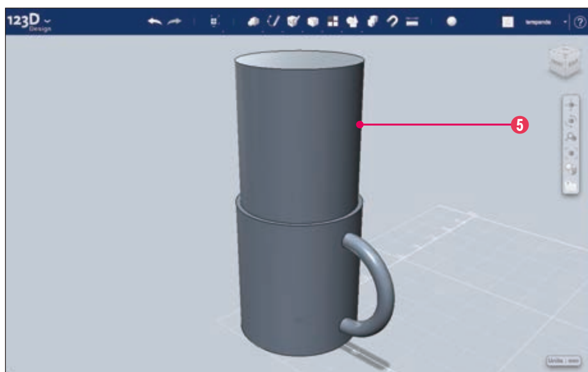




## 步骤 3

这样用于挖空内部的圆柱体就放置在杯体的上方了❺。

**警告！**

请注意，如果点击顺序相反，反而会使杯子附着在挖空圆柱体的上方。

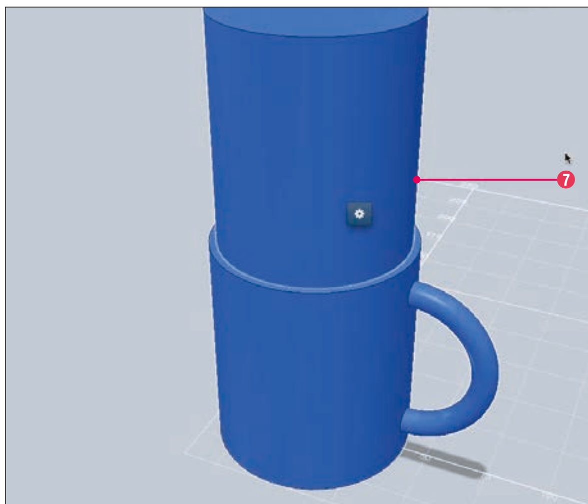



## 步骤 4

使用 [Snap] 指令将物体粘贴在一起后，两部分会自动组合在一起。

选 择 [Grouping] → [Ungroup] ❻，点击这两个实体的任意部位❼即可解除组合。

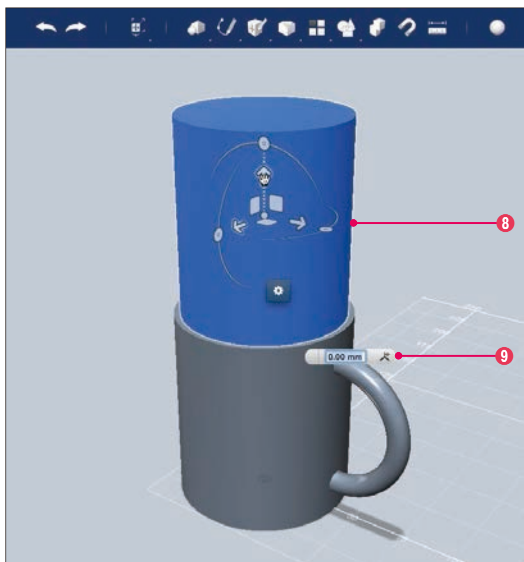


## 步骤 5

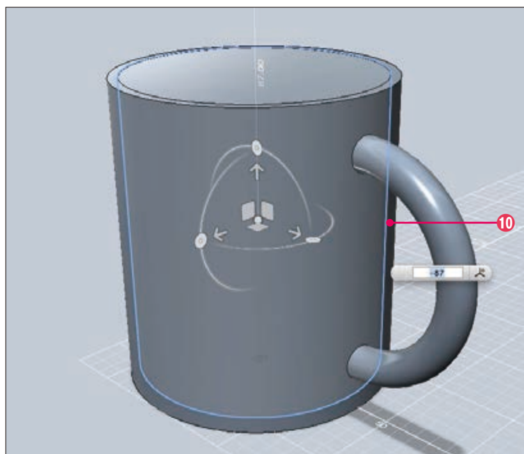
接下来，将上方的挖空圆柱体向杯子中移动其自身高度的距离（87mm）。

选择 [Transform] → [Move]，选中上方的圆柱体❽，在弹出的对话框中输入 –87mm ❾。




## 步骤 6

如图所示，这样上方的圆柱体就移动到了杯中⑩。



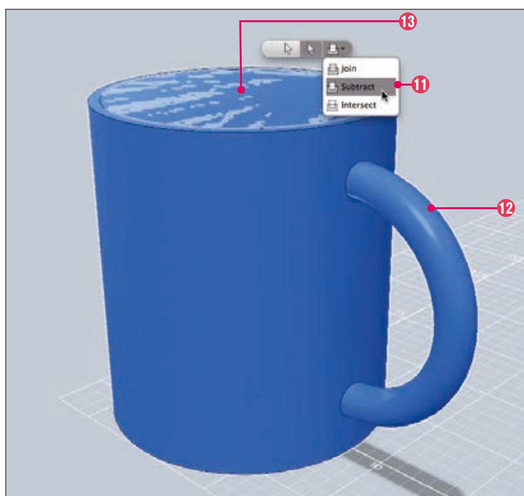

## 步骤 7

下面，从杯体内侧减去圆柱体就可以挖空内部了。

选择 [Combine] 指令，然后选 [Subtract] 选项⑪。

先点击杯体⑫，然后再点击挖空内部的圆柱⑬。

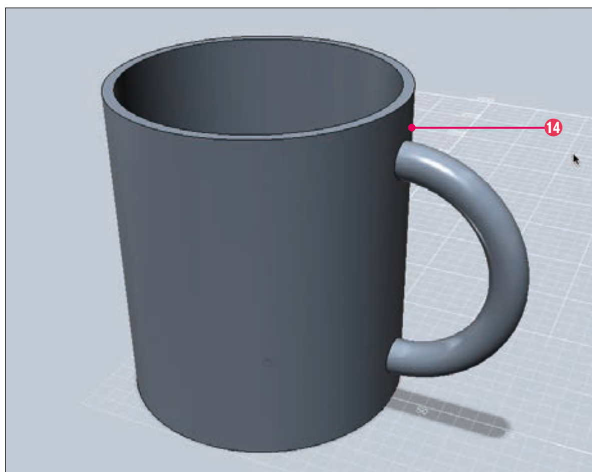
如图所示选中两个实体后，按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。




第 4 章 尝试简单建模

## 步骤 8

这样就把马克杯的内部挖空了⑭。



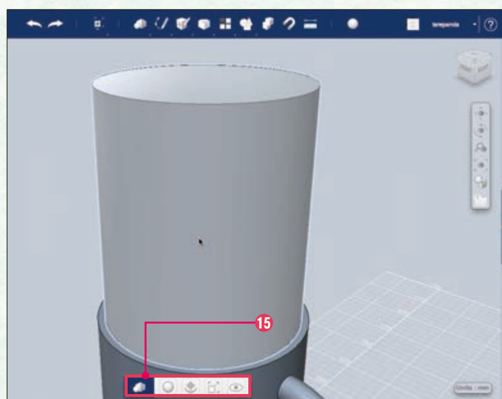

专栏



### 上下文菜单

此前介绍的各个步骤中都是在操作执行之前先选择所需指令的，除此之外 123D Design 还提供了另一种操作方式。

如果不选择指令直接选择实体或面，在画面下方就会显示该处可执行的相应指令菜单⑮，这种菜单称为“上下文菜单”。使用这个功能可以提高操作效率，建议大家在熟悉基本操作以后试用一下。

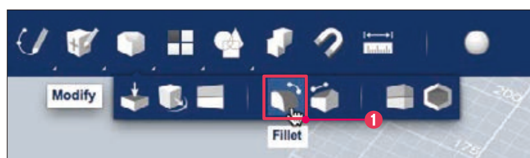



## 4.1.4　马克杯的后期处理

下面介绍后期处理。现在完成的形状只是使用圆柱挖成中空的杯体，杯底和杯口还都是硬边的状态，就这样直接用的话会很不舒服，可能会割伤嘴唇，所以下面还要对硬边进行修圆处理。

## 步骤 1

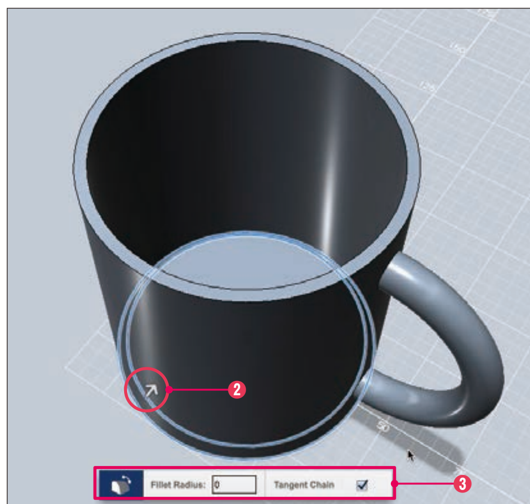
选择 [Modify] → [Fillet] ❶。




## 步骤 2

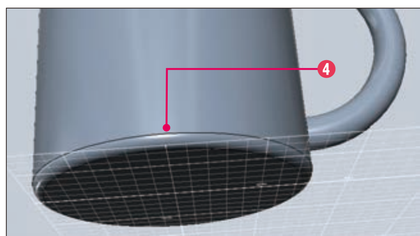
点击杯子内侧底面的边和外侧底面的边❷。不可见的边也是可以选中的。

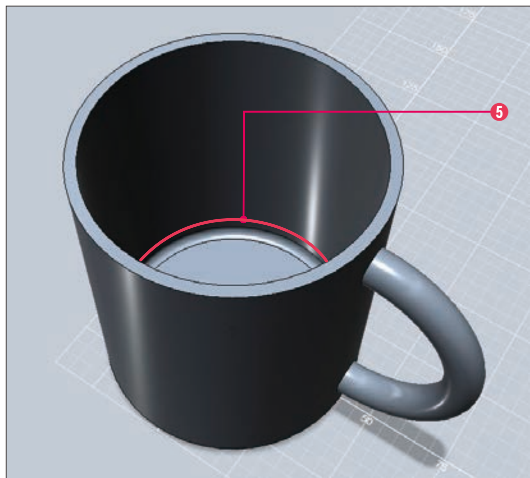
点击后会弹出对话框，在对话框中可以指定倒圆角处理的 R 值❸。这里将其指定为 3mm。




## 步骤 3

这样杯子的内侧底面的边和外侧底面的边就都被修圆了❹❺。

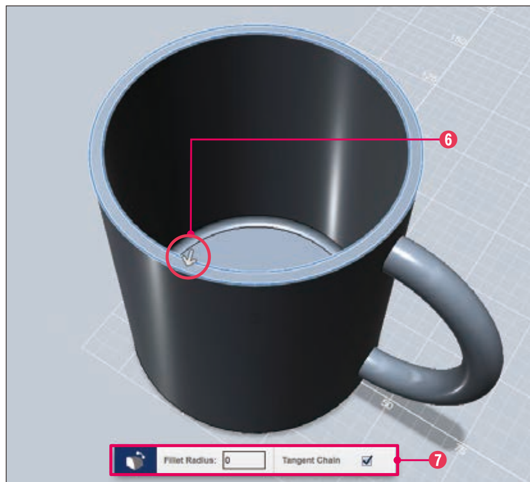



## 步骤 4

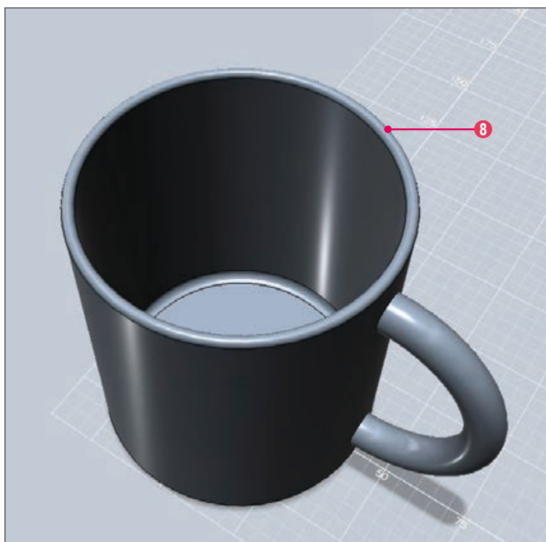
以同样的方法把杯口部分的边也修圆。

选择 [Modify] → [Fillet]，连续点击杯口的两个边缘❻，这里将 R 值设为 1.5mm。❼。



## 步骤 5

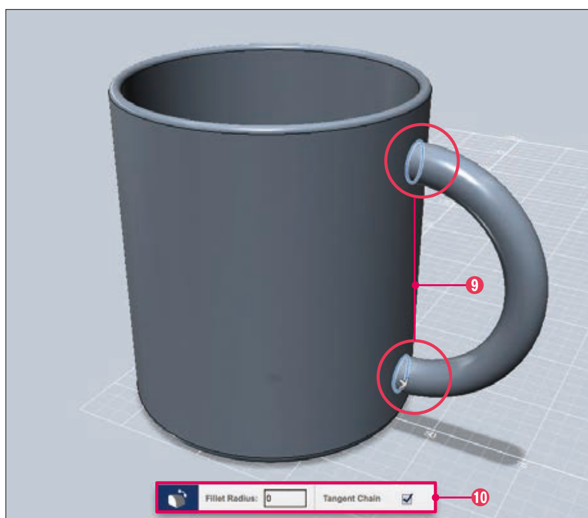
这样杯口就变圆了❽。




## 步骤 6

最后，为了让做出的杯子更像陶瓷杯子，我们将把手的衔接处也做出一些弧度。

选择 [Modify] → [Fillet]，点击把手与杯子相接的上下两条边❾，将 R 值设为 3mm ❿。



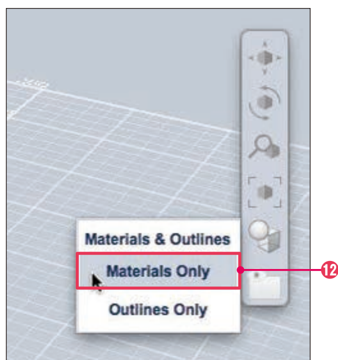

## 步骤 7

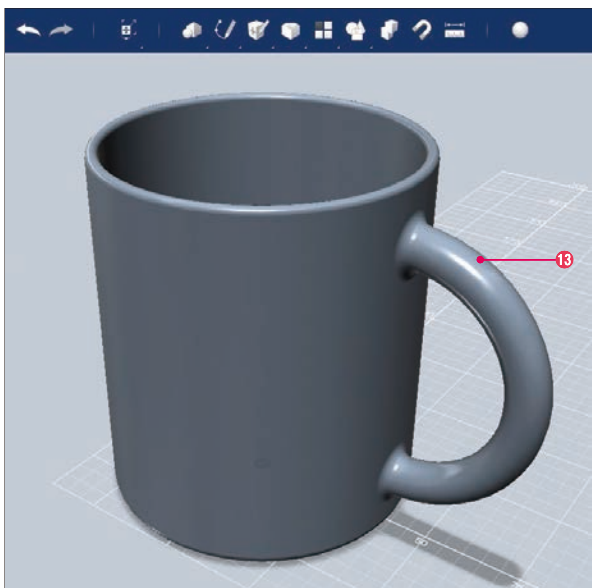
这样马克杯就完成了⓫。



## 步骤 8

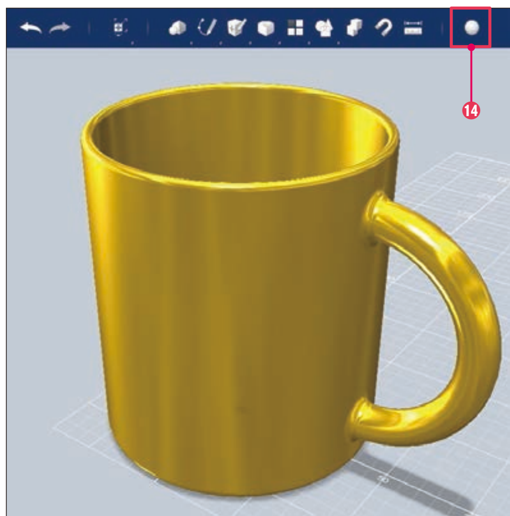
在操作过程中实体一般显示为 [Materials & Outlines] 状态，这时如果将显示状态改为 [Materials Only] ⑫则视觉效果会更好⑬。



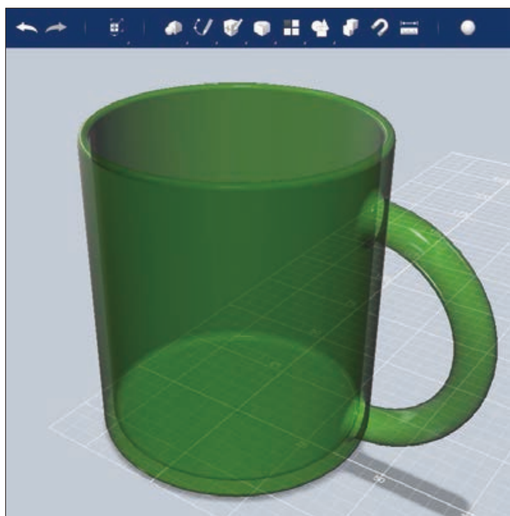




## 步骤 9

另外，如果使用 [Material] 指令设置材质⑭，则实体表面的显示效果也会有所不同。




将材质变为黄金



将材质变为绿色玻璃

以上就使用制作基本形状的 [Primitives] 指令制作马克杯模型的过程，感觉如何呢？可能很多人会觉得比想象的还要容易一些。其实我们身边的很多东西稍加用心就可以建模出来，而且只要做出这些东西的 3D 数据，马上就可以借助各种工业设备制造出来实物，还可以根据自己的喜好自由决定使用的材料和产品的颜色，相信这样一种产品制造方法将来还会渗透到更多领域的。

下一节将介绍稍微复杂些的建模方法。通过阅读下一节，读者可以制作出更复杂且更称心如意的形状来。

专栏



## 充分利用 3D 扫描仪

如果提到与 3D 打印机同样受到瞩目的设备，可能非 3D 扫描仪莫属。3D 扫描仪简单说就是通过扫描现有的物品来制作 3D 数据的设备，有了这个就能根据已有的物品制作 3D 数据。大家在电视或媒体上也许看过通过扫描人物形象后制作这个人的模型的过程。

从电视上看可能会感觉制作这种高清 3D 数据是非常容易的，但实际不然，这个过程并不像看上去那么简单。利用 3D 扫描仪的确可以将物理上的形态变换为数据，但很遗憾的是，这种扫描不可能达到平面扫描那么完美的效果，使用 3D 扫描仪也需要掌握处理 3D 数据的相应技术能力。

### ● 使用 3D 扫描仪生成 3D 数据

3D 扫描仪可以分为接触式和非接触式两种，为制作人物自身模型等而扫描人体时通常使用非接触式扫描仪。

非接触式扫描仪是通过测定激光光线在物体上反射位置的坐标值而实现数据收集的。也就是说，通过这种 3D 扫描仪得来的直接数据为扫描仪测定的点的集合，称为点群，这与本书中介绍的 3D 数据有所区别。因此，还需要进一步完成将点群扩展为面的作业。另外被扫描物体上的阴影部分无法准确测定，所以从数据上看这些地方是开孔的，需要在后期的作业中补充完整。因此，在使用 3D 扫描仪时仍然需要具备 3D 建模的基本能力，不可能通过 3D 扫描仪直接得到完美的 3D 数据。

图 ▪ 使用 3D 扫描仪生成 3D 数据的流程



①先使用 3D 扫描仪扫描对象物体，由于需要 360° 数据，所以需要从多个方向扫描。





②修理无法完整扫描的欠缺部分。





③完成数据整理，这样就准备好了用于3D打印的数据。

第4章

# 4.2 制作收纳盒

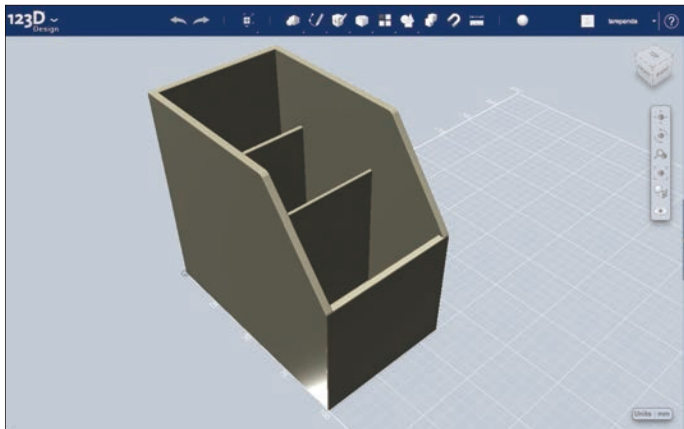
虽然我们身边的很多东西都可以仅使用 Primitives 的基本形状就能完成制作，但也有很多形状是无法只依靠 CAD 提供的基本形状来完成的。而且对于一些形状来说，即使可以使用 Primitives 完成，但由于其过程过于复杂，使用 Sketch 或 Construct 反而更容易实现。另外，使用 Sketch 或 Construct 的建模过程与专业 3D CAD 软件使用的建模方法是相同的，所以如果学会这个方法，今后再进阶专业 CAD 软件就会减轻一些负担了。

下面我们来介绍使用 Sketch 及 Construct 的建模方法。这里介绍的内容是今后从事专业建模所必须的基础知识，请一定要熟练掌握相关的操作方法。

## 4.2.1 思考建模方法

这次我们准备建模的是图中的收纳盒，外形比较方正，可以当作笔筒，或是放一些小件用品，非常方便。

图 要制作的收纳盒 3D 模型

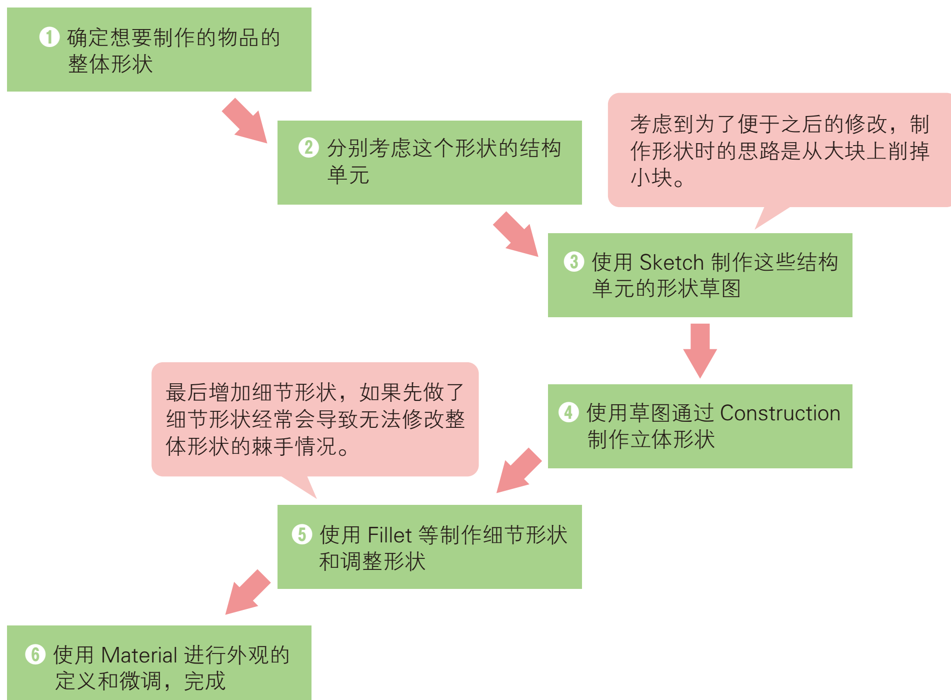



下面来思考如何使用 3D CAD 制作这个形状。首先它具备与之前的马克杯相同的挖空结构，但中间有隔板，且两侧壁的前方被斜切，可以看出这个结构比马克杯的结构要稍复杂一些。但另一方面，由于整体是由平板组成的，所以也不需要过于复杂的建模。只要开始的时候把各个结构单元考虑清楚，每个单元的制作也就并不复杂。

## 使用3D CAD软件建模的流程

使用 3D CAD 建模时最重要的是明白需要制作的产品的结构。先把这个确定清楚了，之后就比较容易操作了。使用 3D CAD 软件建模的流程如图所示。

图 使用 3D CAD 建模的流程

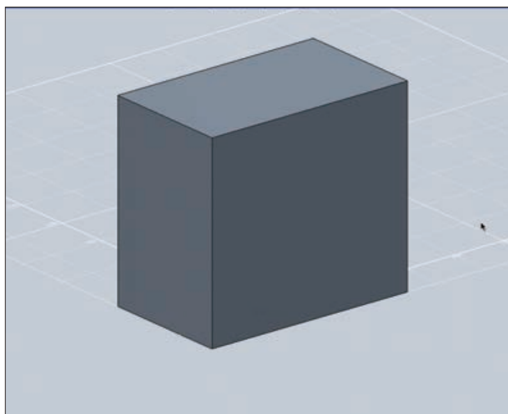



先要确定要制作物品的整体形状，然后再依次完成各项操作，最后进行 Material 的定义和其他细微调整。这里需要注意的是上图中所提示的，制作形状时的思路尽量要按照从相对大的块切下相对小的块这个方式来安排。

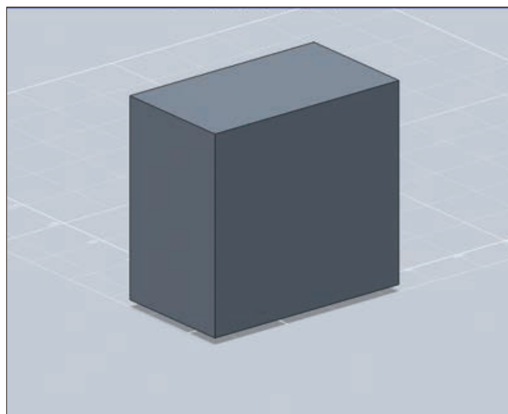
## 掌握结构单元

这次我们要制作的收纳盒其 3D CAD 建模可以由如下结构单元组成。

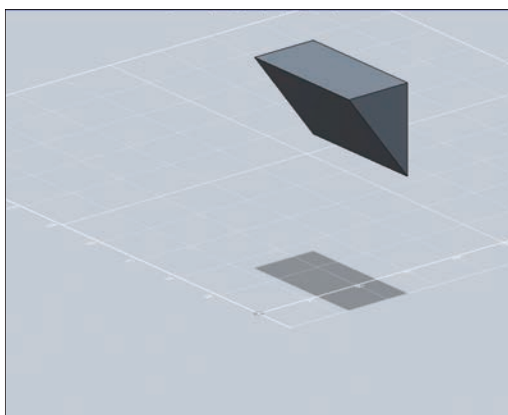
图 结构单元



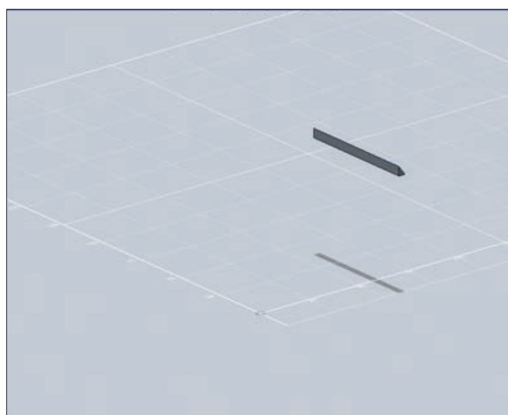
( 1 ) 盒体尺寸为 100mm × 60mm × 90mm 的立方体



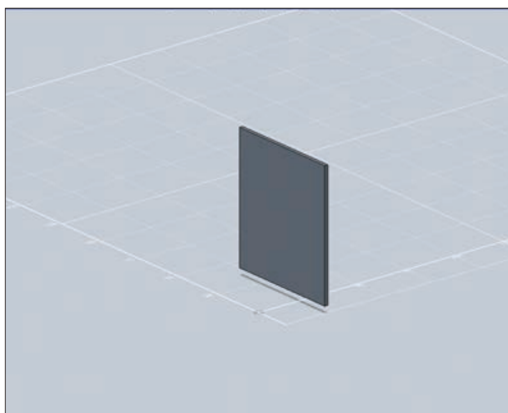
( 2 ) 用于挖空内部的立方体 94mm × 54mm × 87mm



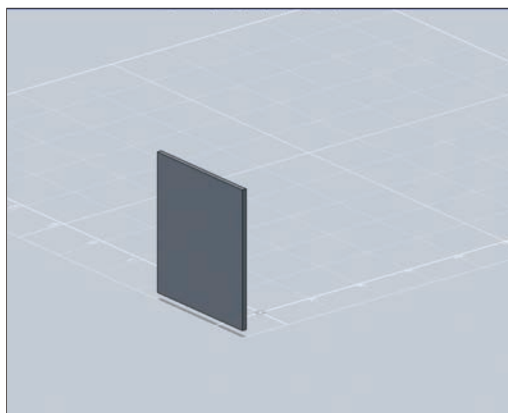
( 3 ) 切掉前面部分的三角形



( 4 ) 去掉前壁顶面斜角的三角形



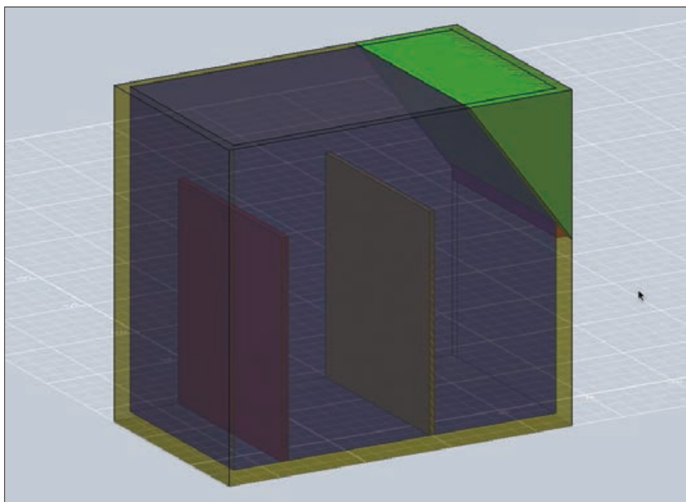
( 5 ) 前隔板 ( 厚 1.5mm，高 60mm )，要与挖空的箱体吻合



( 6 ) 后隔板 ( 厚 2mm，高 60mm )，也要与挖空的箱体吻合

组合以上形状的结果如下。

图 ■ 收纳盒各结构单元组合在一起的效果



如上所述，如果想熟练使用 3D CAD 制作形状，一定要在确定其最初形状的基础上思考要减去（或是加上去）的形状。如果在这个过程中同时兼顾后面修改的便捷性，就可以比较高效地完成建模了。下面将结合实际的建模过程具体介绍相应技巧。

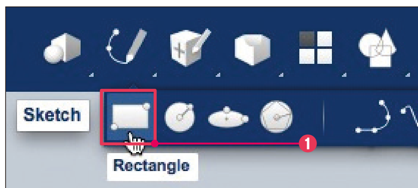
## 4.2.2 建模收纳盒的基础形状

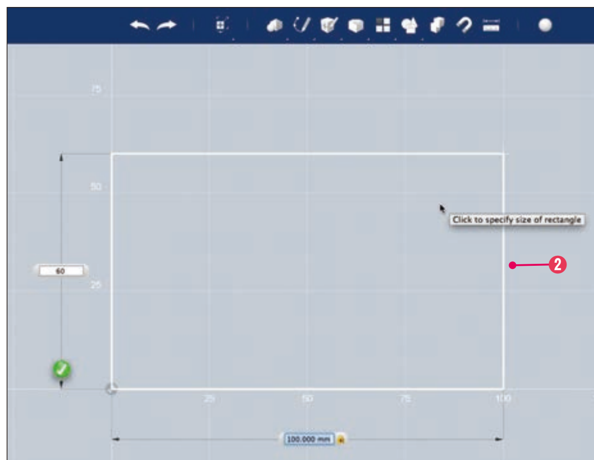
那么我们来看一下具体的步骤吧。首先要建模基础形状。

### 步骤 1

首先制作基础盒体。

选择 [Sketch] → [Rectangle] ❶，画出盒体底面的草图❷。底面的纵深为 100mm，宽度为 60mm。



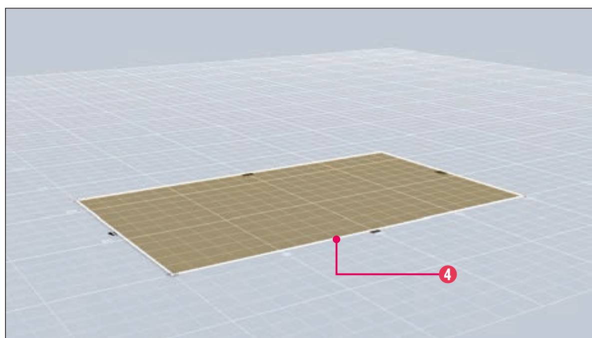



## 步骤 2

然后需要使用 [Extrude] 指令（直推）将这个草图拉伸成立体形状。

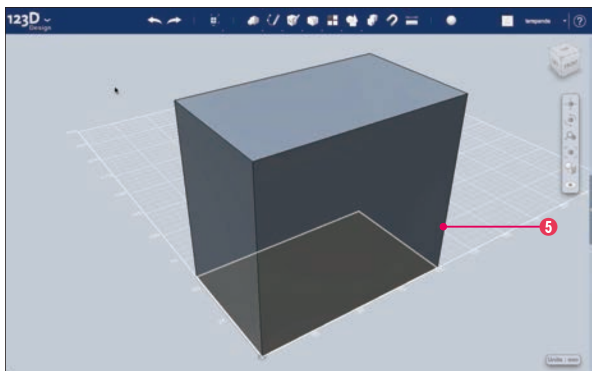
选择 [Construct] → [Extrude] ❸，选中草图❹，将高度设为 90mm。




## 步骤 3

这样就完成了纵深 100mm、宽度 60mm、高度 90mm 的块状形态❺。



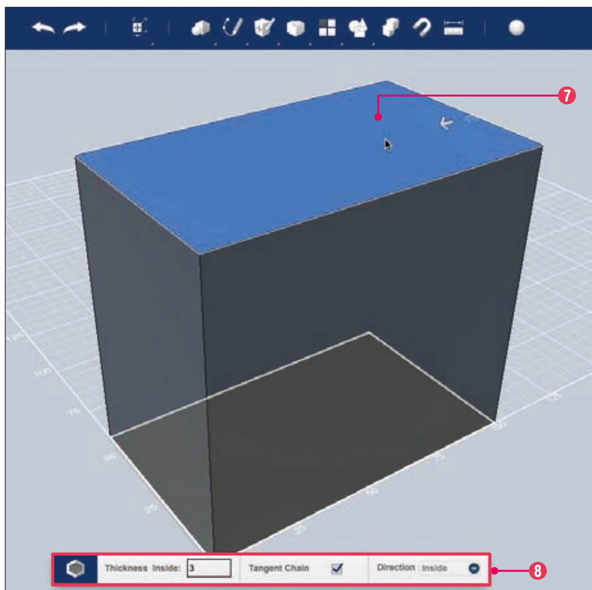

## 步骤 4

下面要将这个长方体挖空，制作侧面和底面的厚度都为 3mm 的盒体。

选择 [Modify] → [Shell] ❻，选中要挖掉部分的顶面❼，在对话框中指定厚度为 3mm ❽。

> 提示
> 如果要制作指定厚度的盒体，使用 [Shell] 指令非常方便。[Shell] 指令是可以删除多个面（123D Design 中仅为一个面）来制成一定厚度盒体的指令。

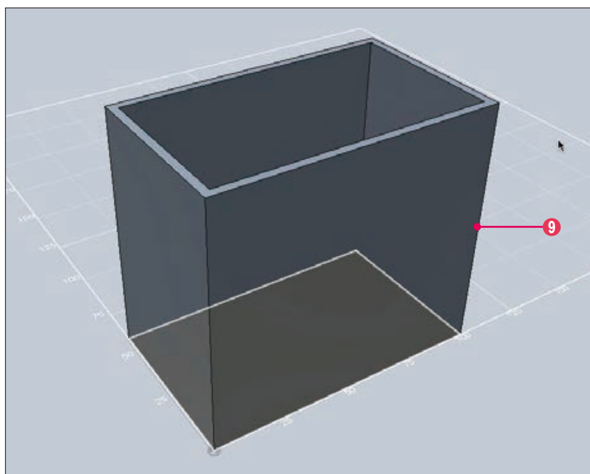


## 步骤 5

按下回车键（Mac 为 Return 键）执行指令，就可以得到厚度为 3mm 的盒体❾。

使用 [Shell] 指令挖出的部分即为之前提到的组成单元（2）的形状。这样就完成了基础盒体的制作。

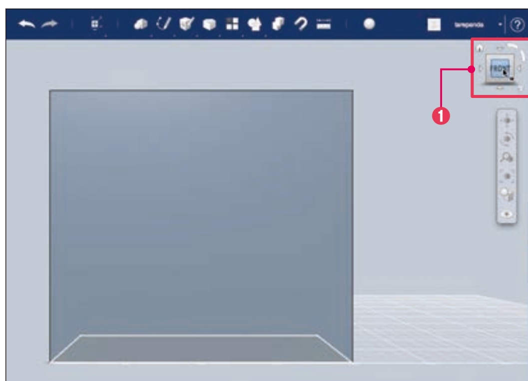


## 4.2.3 制作盒体前方斜切的部分

下面制作盒体前方斜切的部分。这里需要用到 [Extrude] 指令。使用 [Extrude] 指令可以制作新的立体形状，也可以用来切削其他形状。

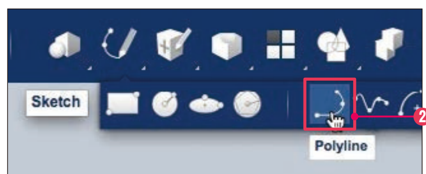
## 步骤 1

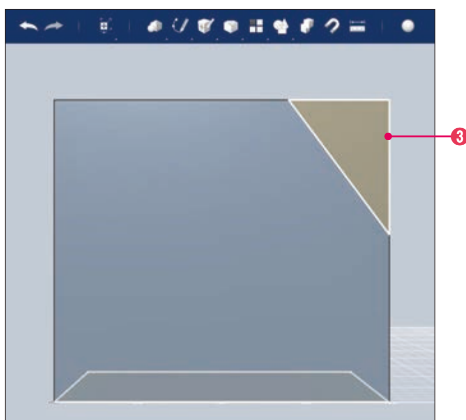
首先改变视角，点击右上角 View Cube 的 FRONT，设为正面视角❶。



## 步骤 2

选择 [Sketch] → [Polyline] ❷，如图所示，画出宽 30mm、高 40mm 的三角形草图❸。



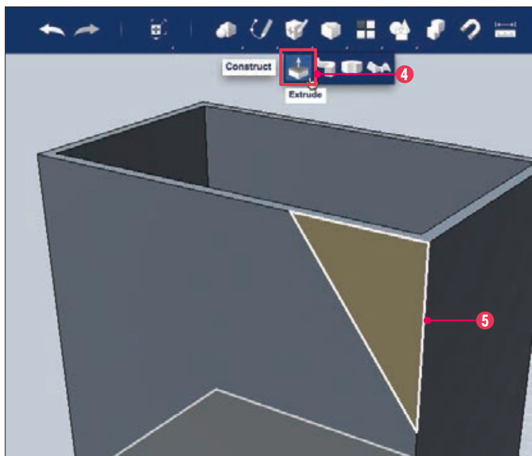



> 提示
> 使用 [Polyline] 指令后，如果三角形完全闭合则显示为如图所示的茶色区域，在这个状态下可以使用 [Extrude] 指令制作立体形状。

## 步骤 3

将形状推出（切削）。

执行这个作业时为了便于操作最好切换成斜向视角，所以要先点击 View Cub 切换视角，然后再选择 [Construct] → [Extrude] ❹，选中画好的三角形草图❺。

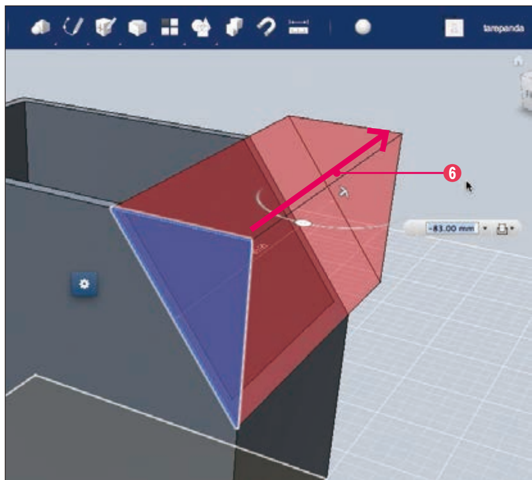



## 步骤 4

向画面深处移动箭头直推三角形❻。推出的长度需要超过盒体的宽度。

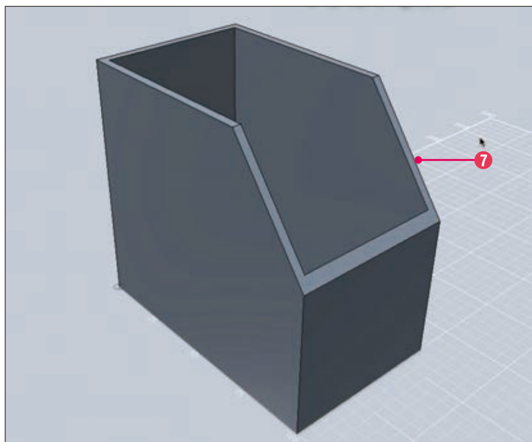
这样系统会自动转换为切削模式，切削模式下直推经过的区域会如图显示为红色的半透明区域。

确认该红色半透明区域宽于盒体的宽度即可按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。



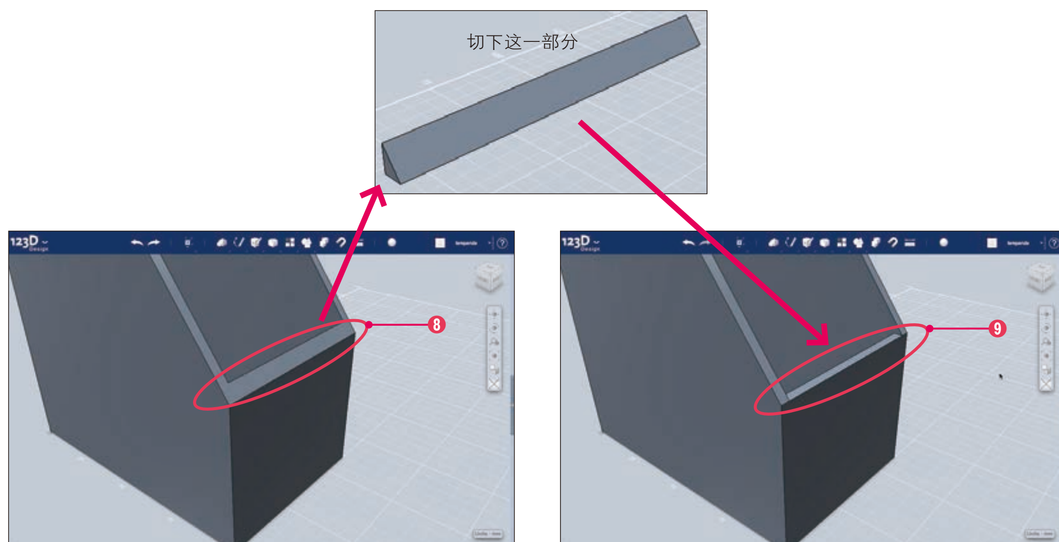

## 步骤 5

执行指令后得到如图所示的形状❼。这里切削掉的部分即为前面介绍的结构单元（3）的形状



## 步骤 6

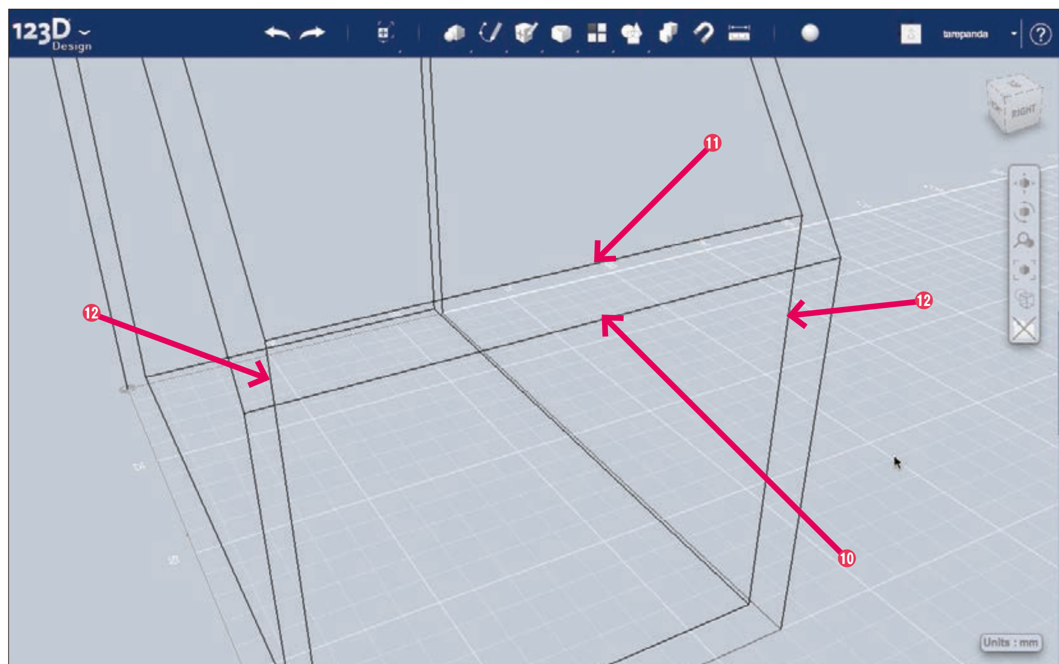
通过上述步骤完成了盒体前面的斜向切削，但现在盒体前壁的顶面是斜向的❽，所以还需要切下突出的斜面部分使该顶面平整❾。




## 步骤 7

下面在前壁的内侧画出切去这一部分的草图。这里使用 [Project] 指令绘制草图。将前壁板的内侧作为画草图的面，虽说在这个面上完成草图的线形，但不是像其他草图那样重新绘制，而是利用现有的边来完成。

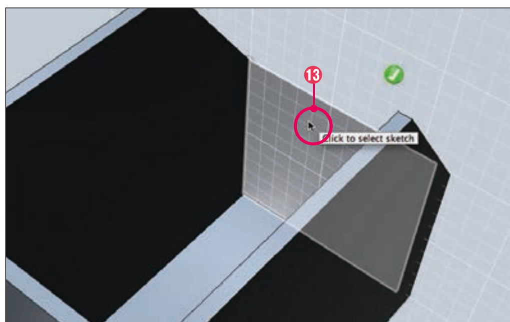
这里我们通过投影前壁板外侧顶部的边❿、内侧顶部的边⓫、内侧左右两条边来制作用于切削的闭合草图区域⓬。

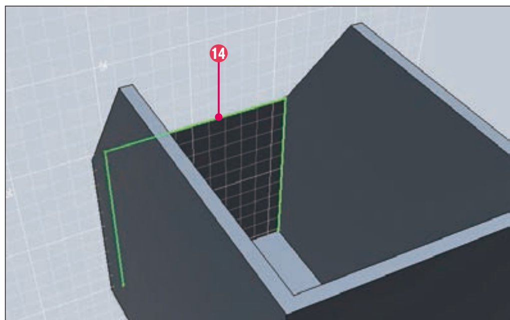


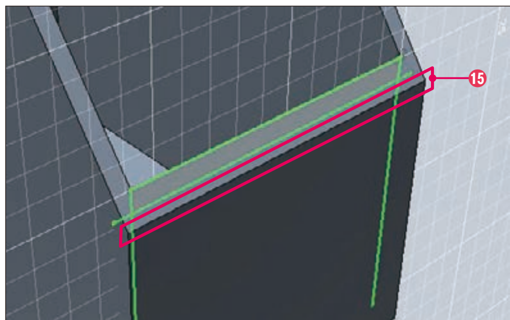
## 步骤 8

选择 [Sketch] → [Project]，先点击前壁内侧将其设为投影面⑬。点击后这里会显示出草图面的网格。

然后点击要投影的边⑭⑮。这里要将前面提到的 4 条边都选中。



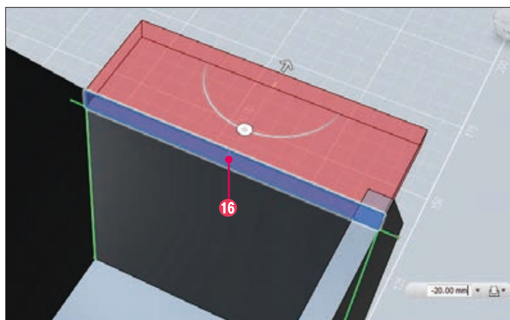

## 步骤 9

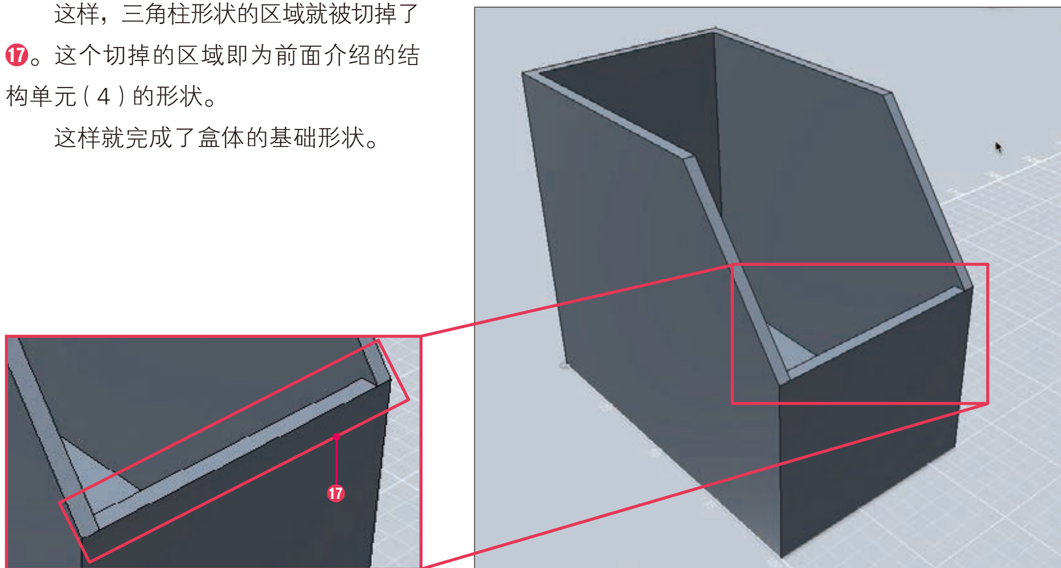
将投影在草图面的 4 条边所围出的区域向盒体的前方直推即可切掉三角柱形状的区域。

选择 [Construct] → [Extrude]，点击要直推的区域，向前方直推⑯。。显示出半透明红色区域后按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。

这样，三角柱形状的区域就被切掉了⑰。这个切掉的区域即为前面介绍的结构单元（4）的形状。

这样就完成了盒体的基础形状。



## 4.2.4　制作隔板

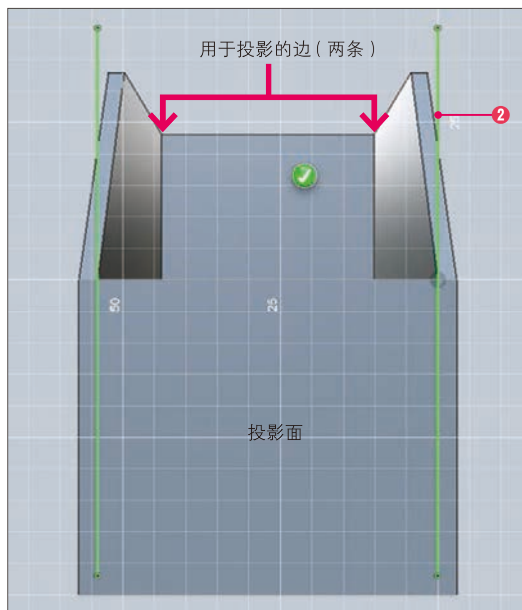
下面制作盒中安装的隔板。通常的办法是在安装隔板的地方直接画出草图，但在 123D Design 中无法在这个位置设置草图面，所以替代的办法就是以盒的正面为草图面，在这里绘制好草图后移动到所需的位置上。

### 步骤 1

由于隔板的宽度与前后壁板内侧面的宽度相同，所以利用后壁板内侧面的两条竖边。

选择 [Sketch] → [Project] ❶，将前壁板的外侧面选为投影面，将后壁板内侧面的两条竖边投影在这个面上。图中绿色的线即为投影得到的线❷，利用这个线做出隔板的轮廓线，再将这个轮廓线直推即可成为隔板。

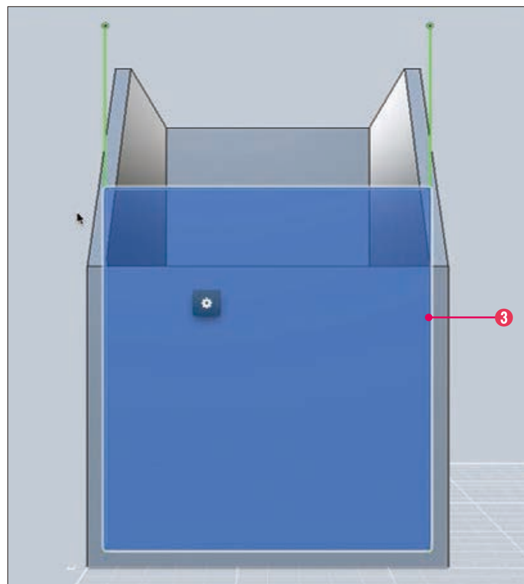



> 提示
>
> 在这部分的操作前先在 View Cube 处点击 FRONT 将视角切换为正面显示，我们在建模时要注意适当地切换视角以便于操作。

### 步骤 2

隔板的宽度与盒体内侧的宽度相同都是 54mm，高度则为 60mm。使用 [Sketch] → [Rectangle] 以两条绿色投影线为边绘制一个高度为 60mm 的四边形区域（图中蓝色区域）❸。

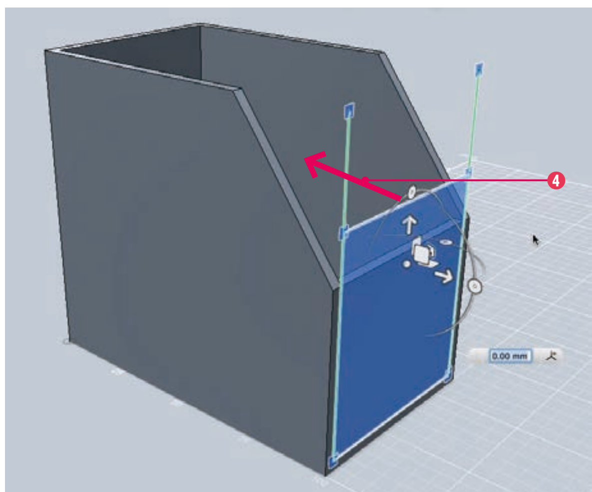


## 步骤 3

然后移动这个草图。先要切换到易于观察的斜向视角。

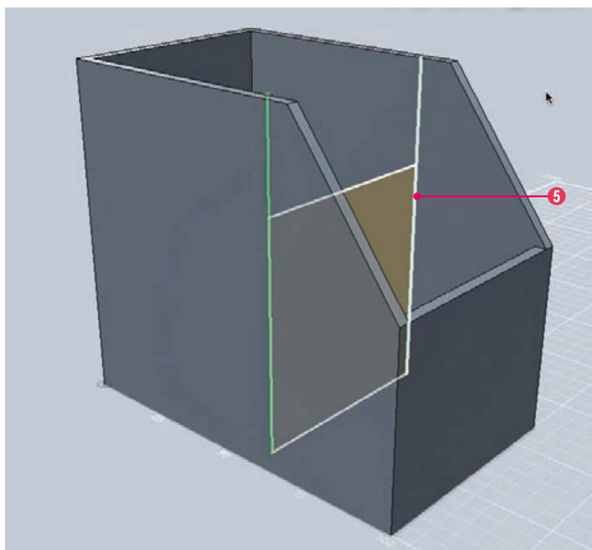
在没有选择任何指令的状态下，选中四边形的草图，从弹出的齿轮图标中选择 [Move]。

这时将箭头向盒体内部移动❹。




## 步骤 4

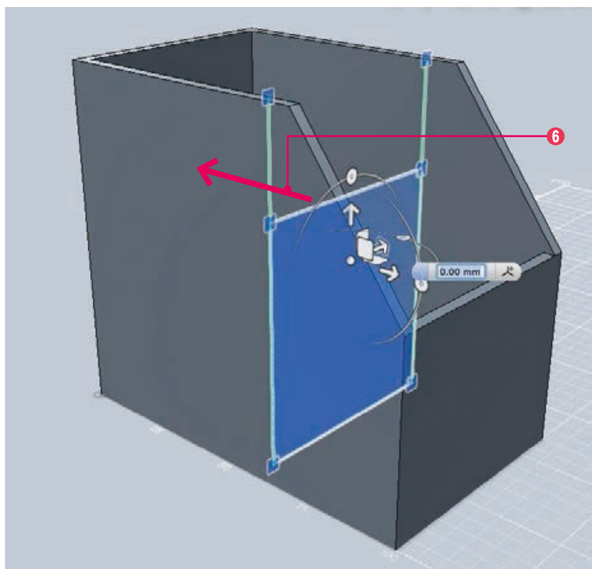
向盒体内部移动的尺寸为 38.5mm ❺。




## 步骤 5

接下来，在后方制作相同截面的隔板。由于是相同的截面，所以不用重新绘制草图，复制前步制作的草图即可。

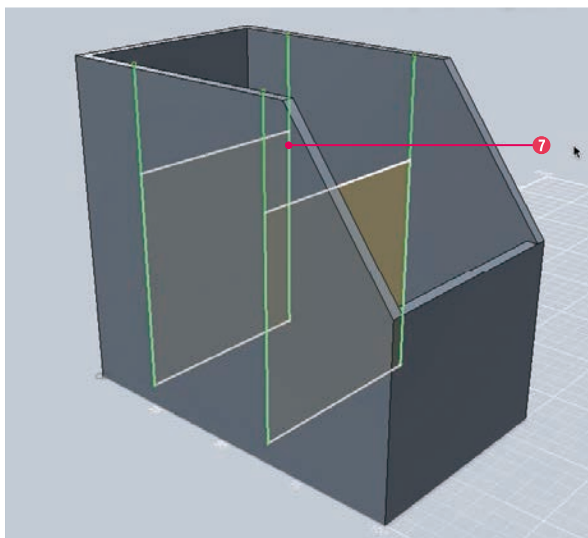
在没有选择任何指令的状态下选中已有的草图，在键盘上按 Ctrl+C → Ctrl+V 键（Mac 为 Command+C → Command+V）进行复制及粘贴。完成粘贴后会自动显示箭头及方向轮，这时将其进一步向盒体内部移动❻。



## 步骤 6

这次的移动尺寸为 42.5mm。

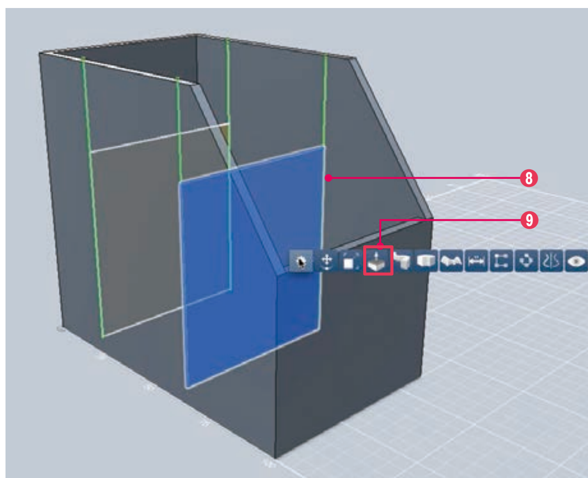
这样就完成了两个用于制作隔板的草图❼。



## 步骤 7

下面为隔板赋予厚度。

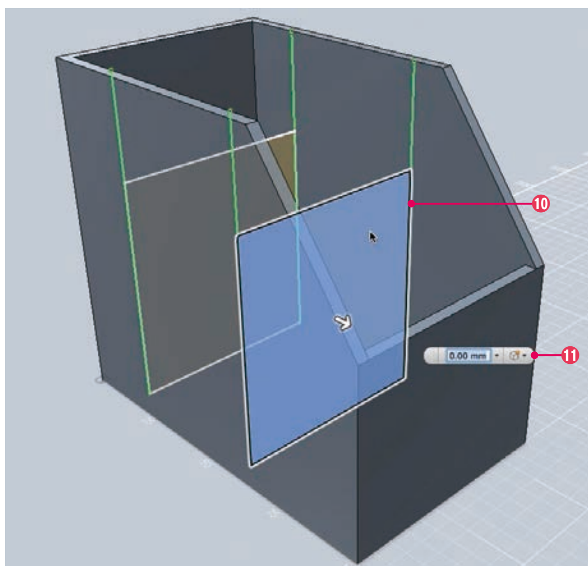
在没有选择任何指令的状态下，点击前面的草图❽，从齿轮图标中选择 [Extrude] ❾。



## 步骤 8

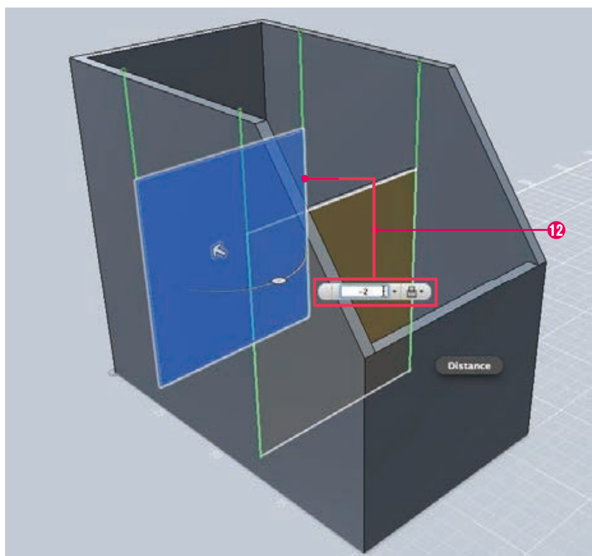
在弹出 [Extrude] 菜单后将箭头向后移动❿。移动距离 ( 厚度 ) 为 1.5mm。

或在弹出的对话框中输入 –1.5mm ⓫。



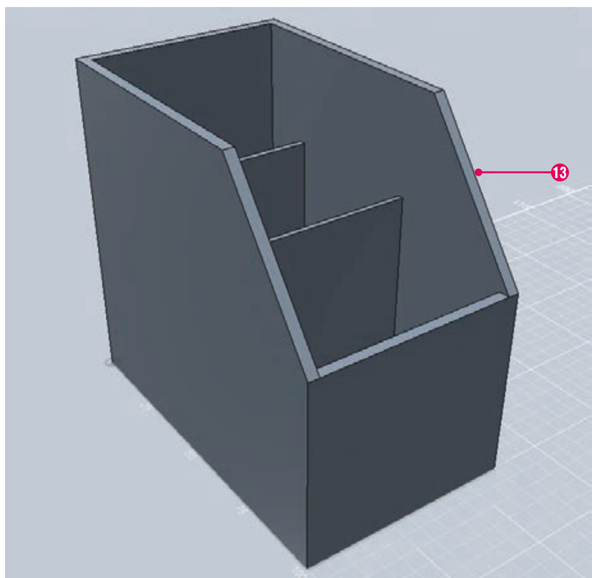
## 步骤 9

使用同样的办法为后隔板做出厚度。这里将厚度设为 2mm ⑫。




## 步骤 10

如图所示，隐藏草图后（参见本书 3.3.4–6 的内容）就基本完成了收纳盒的形状⑬。

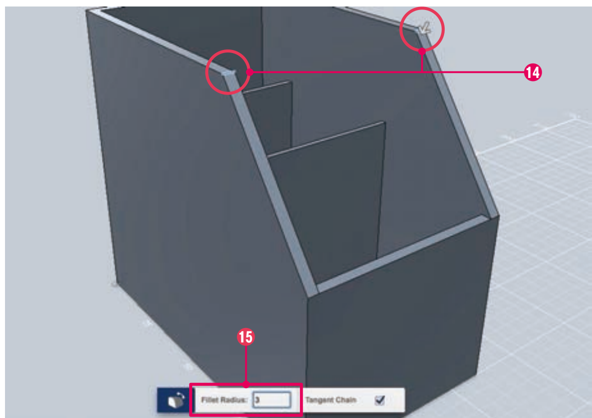



## 步骤 11

最后修整细节形状。对于比较锐利的边要使用 [Modify] → [Fillet] 指令倒圆角。

先将盒体顶面和前面斜切部分相接的边⑭倒圆角，将 R 值设为 3mm ⑮。

> 提示
> 关于 [Fillet] 指令的使用方法请参考本书 4.1.4 节的内容。

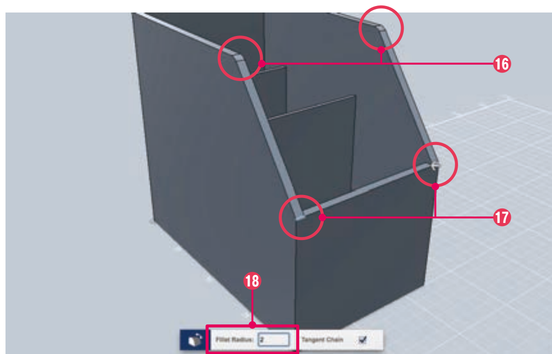


## 步骤 12

这样就完成了倒圆角⑯。

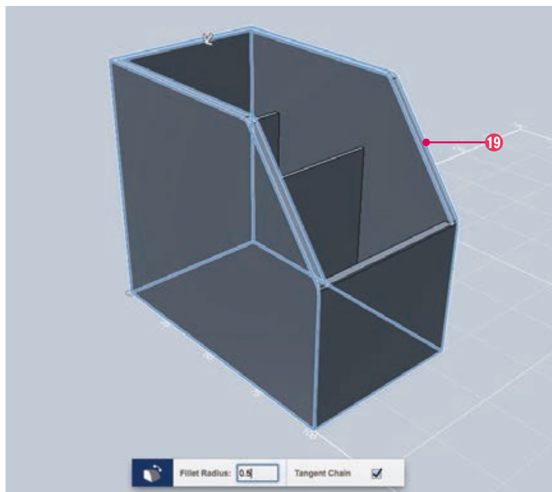
同样将斜切部分与盒体前壁板相接的边⑰使用 [Fillet] 指令倒圆角，R 值设为 2mm ⑱。

这样前壁板的外侧顶边也达到了修圆的效果。



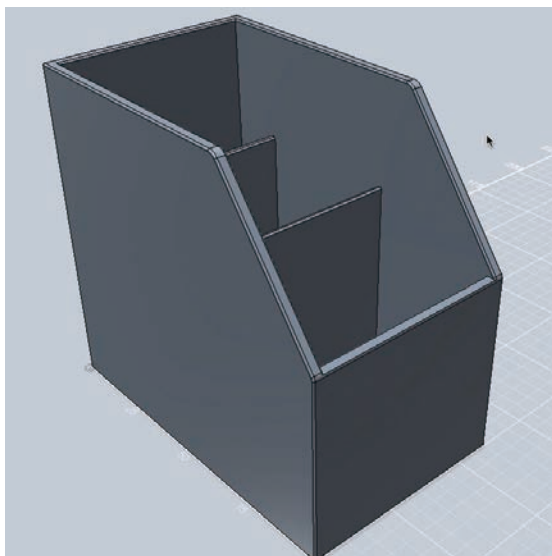

## 步骤 13

最后将这个盒子其他凸出来的边（图中的蓝色线）都使用 [Fillet] 指令倒圆角，R 值设为 0.5mm ⑲。

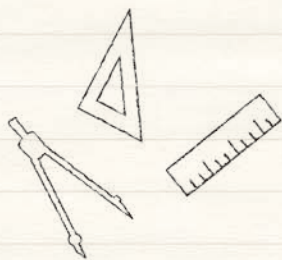



## 步骤 14

这样一个收纳盒的模型就完成了，感觉如何呢？你也能顺利建模图中的收纳盒吗？



本章以介绍建模的基本操作步骤为主旨，进行了马克杯和收纳盒两个物品的建模。之后的章节中将在扩展本章所介绍的基本操作的基础上增加各种技巧，进行更加复杂的建模。也请大家实际动手一起来实战建模吧！



# 第5章

## 实战 产品制造的3D建模之一——制作笔筒、名片盒

在前面的章节中，我们学习了3D CAD软件的基础知识和123D Design的基本操作。本章和下一章将带领大家使用之前介绍过的基础知识进行一些实战练习。制作的产品包括日用品、名片盒、靠背椅、卡通模型等多种物品，通过这些产品的制造过程来介绍3D建模的典型设计方法、操作、思路等关键技巧。通过实际建模各个产品可以有效提高复杂3D建模的能力，所以请各位读者尽量完成全部实战练习。

第5章

# 5.1 制作笔筒

本章及下一章将建模如下产品。

- 放在桌上的笔筒
- 由多个零件组成的名片盒
- 能够实际使用的成人规格靠背椅
- 由多个曲面构成的卡通模型

如上所述，我们会通过实际建模各种大小、形状、用途、结构的产品，来练习制作各种立体形状。由于常见的很多东西是由多个零件装配而成的，所以我们还会介绍涉及零件装配的相关建模方法。

虽然这里介绍的一些比较细节的建模步骤是 123D Design 所特有的，但直推、旋转、放样等制作方法与专业 CAD 的方法是相同的。因此，通过本章的实际练习，熟悉草图的画法和立体形状的制作方法后，这些方法的可用范围也会逐渐扩大。

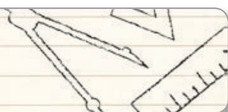
关于本章所建模的物品，除靠背椅之外都是以 3D 打印输出为目标来建模的，可以通过本章来实际体验把自己建模的物品变为实物的过程。

下面就开始用 123D Design 来制造产品吧。如下图所示，先做一个形状稍复杂的笔筒。

图 笔筒



## 5.1.1 探讨建模方法



在前一章中我们建模的是四四方方的物品收纳盒（参见本书 4.2 节），下面要建模的笔筒则如上图所示，形状是圆的并有很多网状孔。首先，我们需要思考一下这样的形状该如何建模。

### 最佳方法的评价标准

这个笔筒可以说是具有中心轴线的圆筒，画出其纵切截面并旋转一周应该就可以完成这个形状。但制作这个形状的方法不止这一种，仔细观察就会发现，这个形状也可以分解成 4 个被压扁的酒桶形状。也就是说，可以由横向切分的、截面半径不同的圆沿竖轴方向重叠而成。

如上所述，这个笔筒可以有几种不同的实现方法。那么哪个方法最合适呢，这个问题虽然没有唯一正确的答案，但就这个笔筒来说可以考虑两个判断标准。

首先要考虑哪种方法更容易做出目标形状，其次还需要考虑哪种方法更容易编辑和修改。我们在一边思考理想的最终形状和效果、一边进行建模的过程中，往往会发生需要对形状稍作修改的情况，这时如果改起来比较麻烦就会感到很棘手。例如，如果草图画过分细致，就会造成之后编辑上的困难。虽然 123D Design 可以直接编辑形状，但实际上仅限于制作比较简单的形状时可以编辑，如果细节过于复杂则大多无法编辑，而是需要重新绘制草图。所以，我们需要在草图阶段就要尽量简练以便之后的编辑。

按照如上的观点，我们再来探讨笔筒的制作方法。

首先，对于先绘制纵切截面然后旋转一周的方法，绘制好截面草图后再想要改变笔筒的高度或每段的间隔就需要重新绘制草图，所以编辑起来很费事。

另外，对于沿竖轴方向重叠横向切分且各种半径的截面的方法，如果需要修改的话只需修改截面的圆，调整高度也比较容易。

所以，本书将按照如下的方法给笔筒建模。

- **主体形状：以圆形薄片为截面使用放样指令制作**
- **开孔形状：使用阵列指令以旋转方向＋纵向复制开孔**

由于开孔形状比较简单，所以先开一个孔然后使用阵列将其以轴为中心复制一周即可完成目标形状。那么，下面就开始动手制作吧。

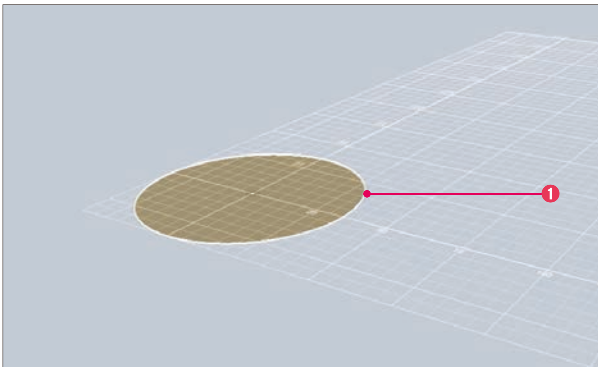
> **提示**
>
> 在多个方法都可以制作某个形状的情况下，这些方法优劣的判断标准因形状和用途的不同而有所不同，所以不能明确说哪个方法是绝对正确的。例如关于之前举出的两种方法，本书将要介绍后者，但应该也有读者会觉得绘制纵切面草图的方法更简单。请大家使用自己认为最好的方法来制作形状。

## 5.1.2　基础形状的建模

首先按照以下步骤建模笔筒的基础形状。

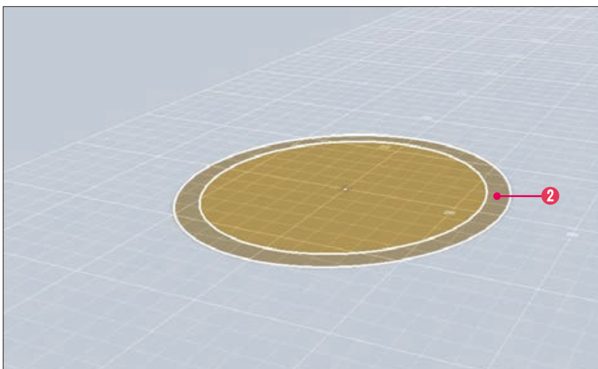
### 步骤 1

选择 [Sketch] → [Circle]，在绘图平面上画出直径为 70mm 的圆❶。



### 步骤 2

在同一平面上画出直径为 60mm 的圆❷。

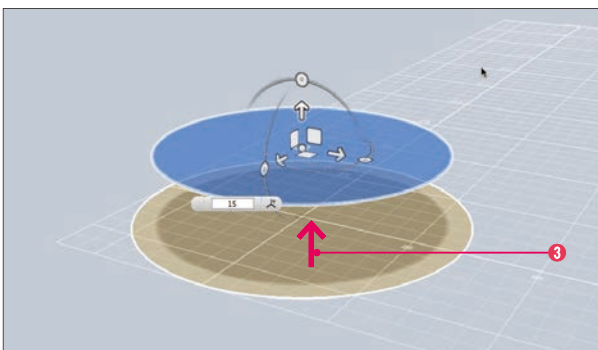


**警告！**

要注意在指定第二个圆的草图平面时不要点击已经画好的第一个圆，如果点击了则进入这个圆的编辑模式，绘制后会使该圆变成双重圆，所以一定要点击已经画好的圆之外的区域。

### 步骤 3

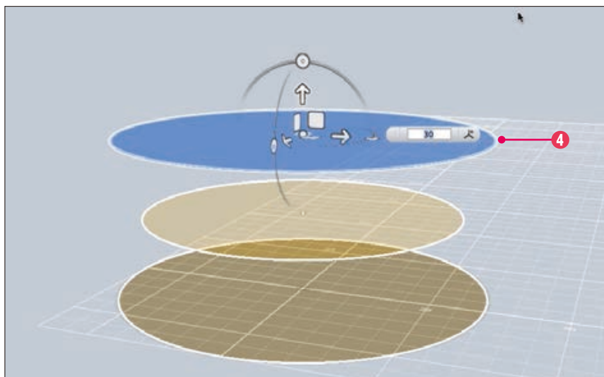
选择 [Transform] → [Move]，将半径为 30mm 的圆垂直向上移动 15mm。使鼠标光标重合在向上的箭头上并在弹出的对话框中输入数值❸即可。



## 步骤 4

复制最下面的圆制作出新的直径为70mm 的圆，放置于直径为 60mm 的圆的上方。

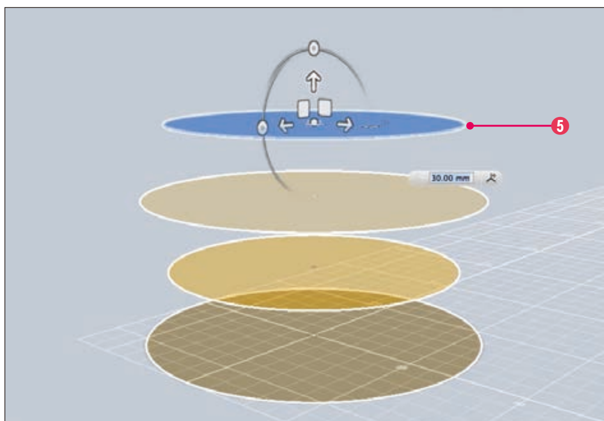
点击最下面的圆使其高亮（显示为蓝色），如图所示进行复制和粘贴❹，从最下方向上移动 30mm，使各圆间隔距离相等。




## 步骤 5

下面制作直径为 60mm 的圆并将其放置于 70mm 圆的上方。

复制并粘贴直径为 60mm 的圆，并向上移动 30mm ❺。

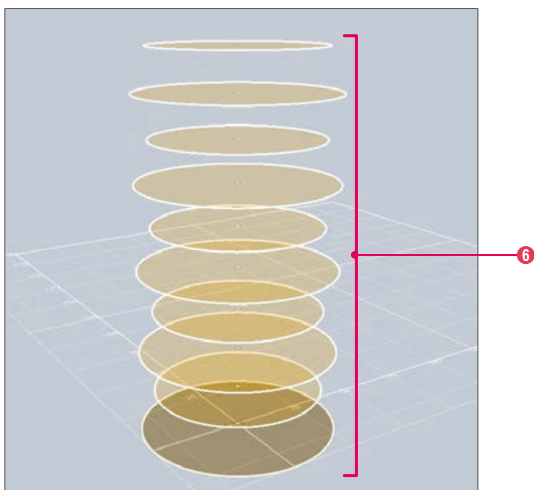



## 步骤 6

重复步骤 4 和步骤 6，形成如图所示的状态❻。

制作出 5 个 70mm 直径的和 5 个60mm 直径的圆。

每个圆的间隔为 15mm，从最下面的圆到最上面的圆的距离合计为 135mm，这个距离可以使用 [Measure] 指令测量出来。

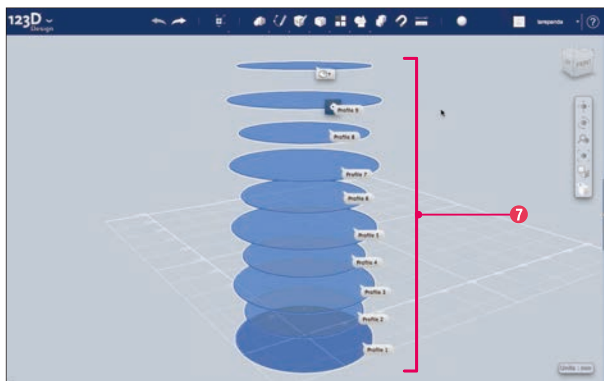


## 步骤 7

使用 [Loft] 指令做出立体形状。

首先，要指定使用的圆。这里需要使用所有的圆，所以按住 Shift 键依次选中每个圆，被选中的圆呈蓝色高亮状态❼。

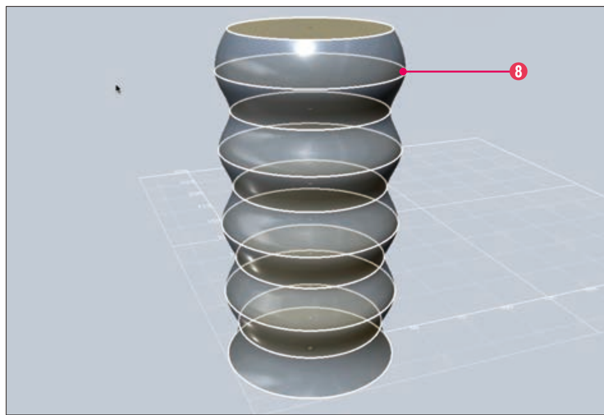
选中所有圆后点击 [Construct] → [Loft]，如图所示，这时会在已经选中的各圆上显示 Profile1、Profile2 等。Profile 在是轮廓的意思，这些轮廓将用于 Loft 指令。




## 步骤 8

在预览效果中确认轮廓的选择没有问题后，按回车键（Mac 为 Return 键）执行 Loft 指令。

这样就做出了笔筒的基础外形❽。由于接下来的步骤不再需要执行 Loft 指令时使用的草图（截面），所以可以将其隐藏起来（参见本书 3.3.4–6 中显示 / 隐藏的相关内容）。

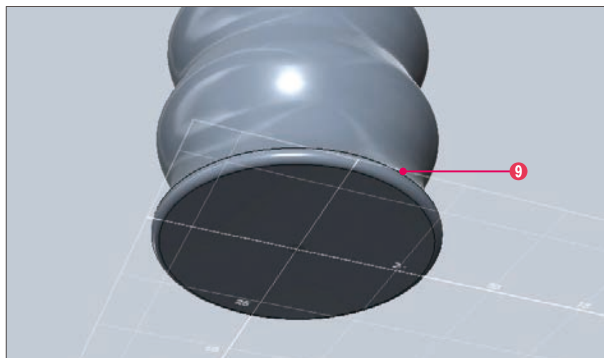



## 步骤 9

将这个形状的底部倒圆角。

选择 [Modify] → [Fillet]，点击底面外侧的边将其选中（选中后边缘为蓝色）。

在弹出的对话框中指定 2mm，即可完成倒圆角效果❾。



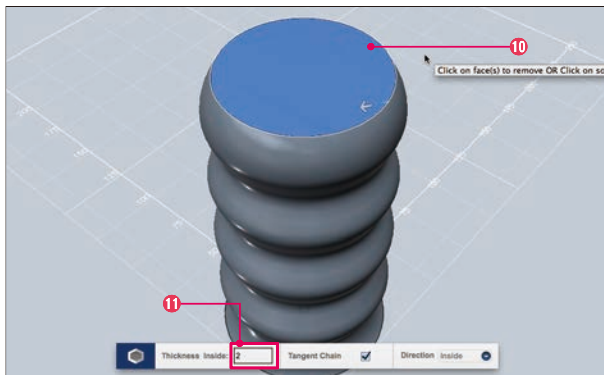

> **提示** 如果误选了其他的边可以再次点击取消选择。

## 步骤 10

为了形成笔筒，需要将基础形状的内部挖空。

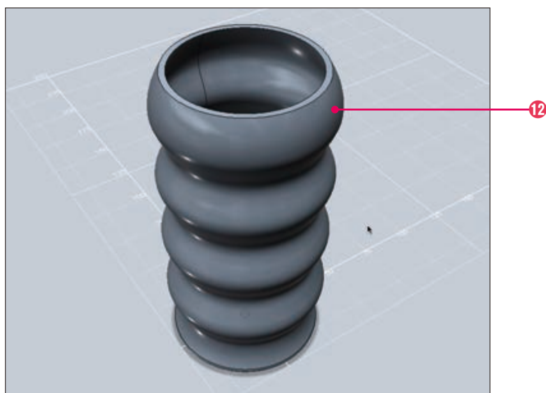
选择 [Modify] → [Shell]，点击圆柱形状的顶面❿。

为了将笔筒的厚度指定为 2mm，在弹出的对话框中输入 2mm ⓫。



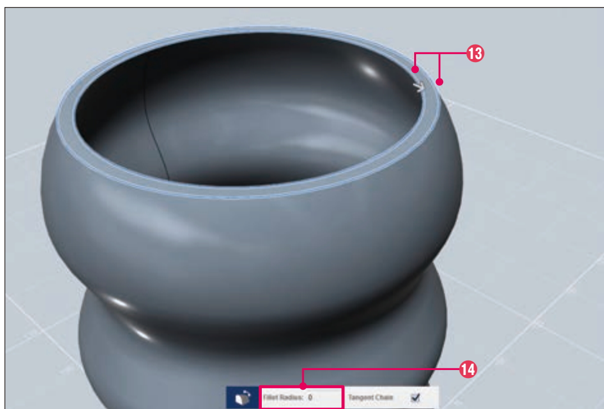
## 步骤 11

如图所示，这样就形成了 2mm 厚度的笔筒形状⑫。



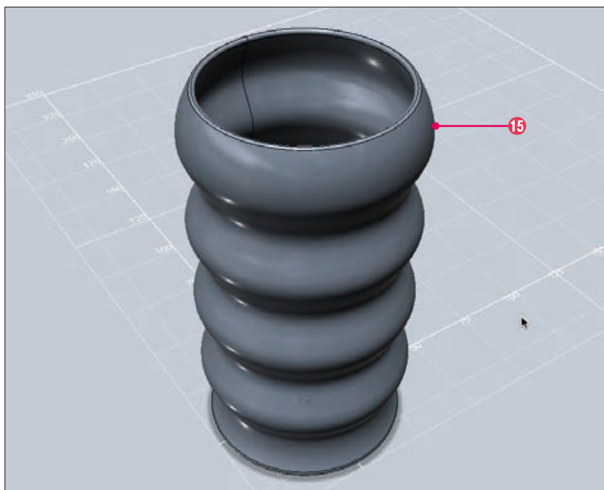

## 步骤 12

将顶部的边倒圆角。选择 [Modify] → [Fillet]，点击选择顶部内侧和外侧的两条边⑬，边变为蓝色高亮后倒圆角 1mm⑭。




## 步骤 13

这样就完成了笔筒的基础形状⑮。虽然现在的样子已经可以实现笔筒的基本功能了，但我们还想在上面开一些洞。

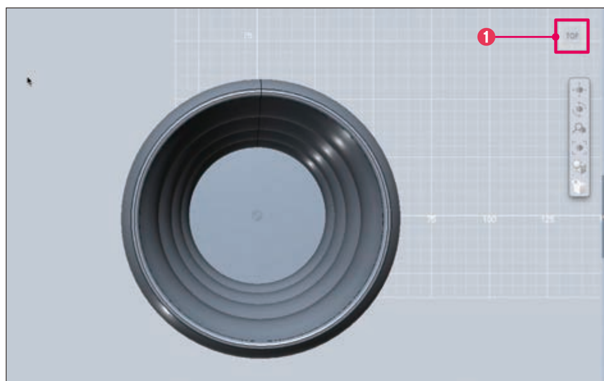



### 5.1.3 开洞加工的建模

下面在之前完成的笔筒基础形状上等距开洞，按照如下步骤进行。

## 步骤 1

首先要新建用于开洞的实体，在这之前先点击画面右上方 View Cube 的 TOP，将视角切换为从上方显示❶。



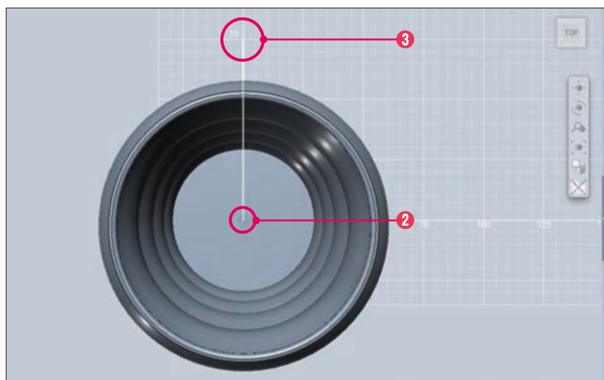
## 步骤 2

绘制用于开洞的扇形形状的草图。

选择 [Sketch] → [Polyline]，点击模型以外的网格处指定绘图平面。

然后，点击圆的中心作为直线的起点❷。终点为垂直向上的 75mm 处❸，点击后就画出了长度为 75mm 的直线草图。

得到如图中的效果后按 Esc 键结束直线草图的绘制。



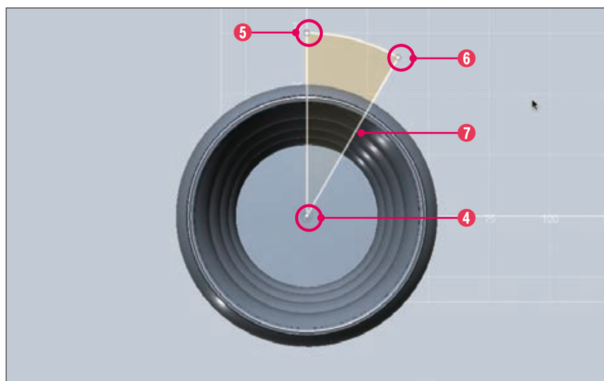
## 步骤 3

下面在与直线相同的草图面上绘制圆弧的草图。

选择 [Sketch] → [Two Point Art]，将鼠标光标移动到直线上，点击画面上弹出的 [Click to edit sketch]。先指定圆弧的中心点❹。然后需要确定圆弧的起点，所以点击垂直线的顶点❺。终点为从该顶点向右侧偏 30 度的地方❻。直接在弹出的对话框中输入 30 即可。

圆弧画好后按 Esc 结束圆弧草图的绘制。

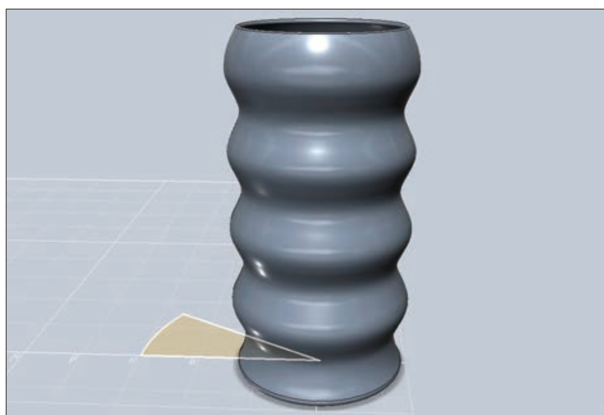
最后画右侧斜线的草图。选择 [Sketch] → [Polyline]，将鼠标光标移动到圆弧或直线上，单击弹出的 [Click to edit sketch] 确定草图面，绘制连接圆弧终点和直线起点的直线❼。这样就画出了如图所示的扇形形状。



## 步骤 4

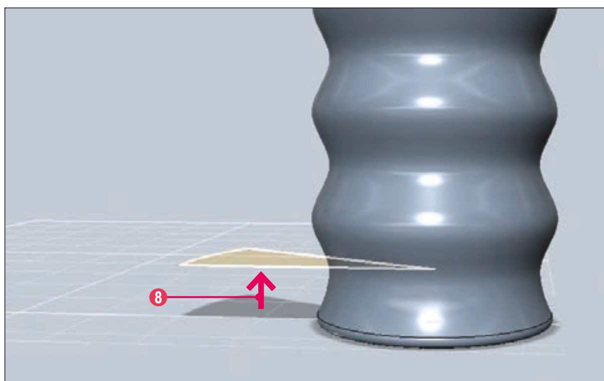
下面用画好的扇形制作用于开洞的实体。

为了便于操作，先切换视角，请适当转动模型使其处于易于操作的角度。



## 步骤 5

选择 [Transform] → [Move]，将扇形的形状向上方移动 15mm ❽。

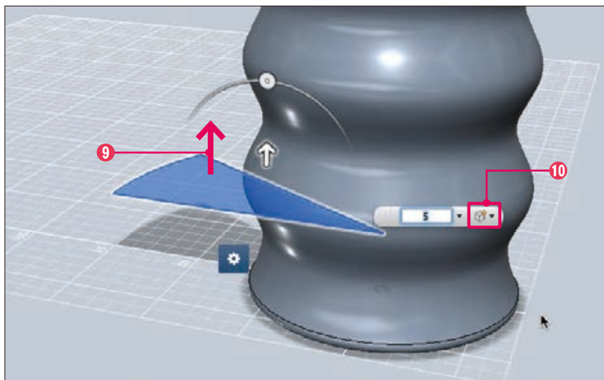


## 步骤 6

选择 [Construct] → [Extrude]，向上方拉 5mm 而形成立体形状❾。

在此基础上点击弹出选项中右端的图标选择 [New Solid] ❿，按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。

由于 [Extrude] 的默认选项为 [Cut]（切削），所以需要在执行指令前将这个选项变为 [New Solid]。

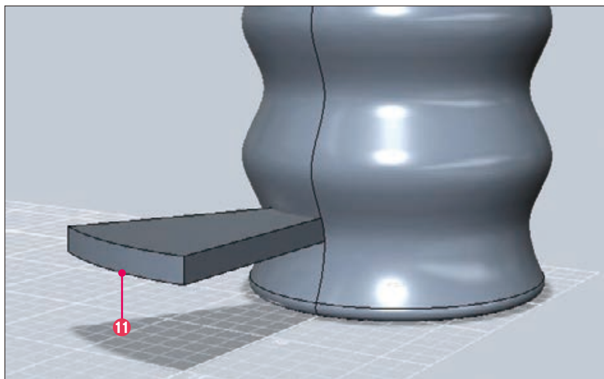


## 步骤 7

如图所示做出了新的实体⓫。

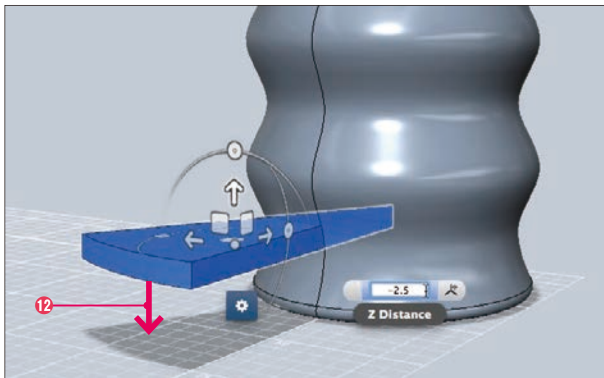
**警告！**

这次操作使用的 [Extrude] 指令其默认选项为 [Cut]，请务必将这个选项变为 [New Solid] 再使用。



## 步骤 8

假设在高于底面 15mm 的位置上有一个平面，则这个实体现在刚好是放置于这个平面上的状态。但我们更希望这个 5mm 厚度的实体处于这个平面上 2.5mm、下 2.5mm 的中间状态（也就是这个 15mm 高度上的假设平面刚好穿过实体中层的状态），所以选择 [Transform] → [Move]，将这个立体形状整体向下移动 2.5mm ⓬。



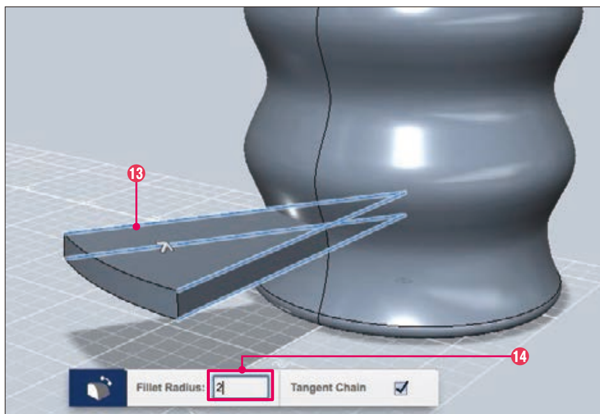



大多专业 3D CAD 软件都有向面的两侧直推实体的选项，所以使用这些软件时不需要这一步操作。

## 步骤 9

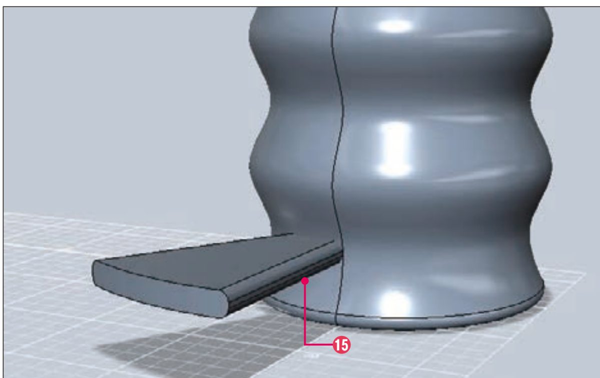
这里想要开圆角的洞，所以将图中显示蓝色高亮的 4 条边角使用 [Fillet] 指令倒圆角⑬。

选择 [Modify] → [Fillet]，在弹出的对话框中指定 2mm ⑭，倒圆角。




## 步骤 10

如图，这样实体的边就被修圆了⑮。

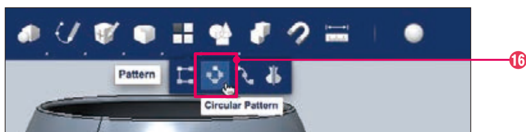


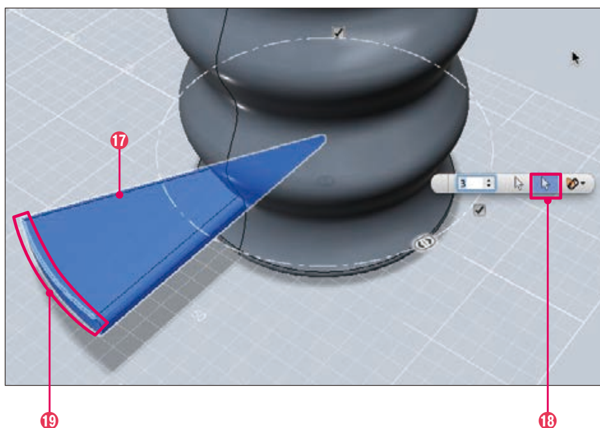

## 步骤 11

下面制作这个立体形状的副本。

选择 [Pattern] → [Circular Pattern] ⑯，选中实体使其蓝色高亮显示⑰。

然后指定旋转方式。这里已经弹出对话框，并在实例数的右侧显示了两个箭头，点击其中右侧的箭头（Axis）⑱，指定旋转的方向。这次不指定旋转的轴，而是点击已选中实体外周圆弧的边⑲。



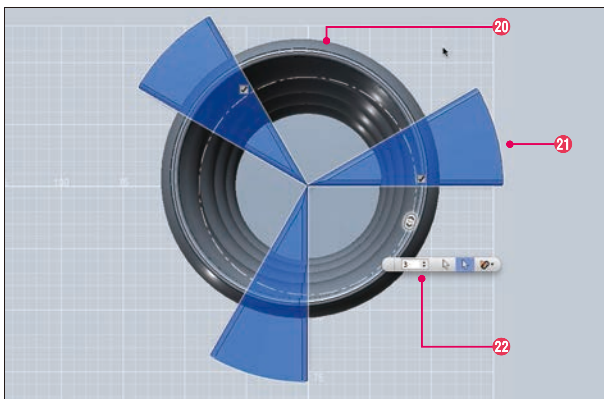



## 步骤 12

为了便于操作，将 View Cube 切换为 TOP 视角⑳。

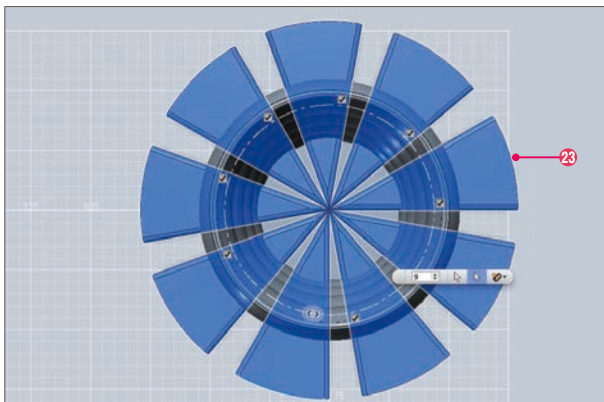
默认的实例数为包括原实体在内一共 3 个㉑。

由于这里共需要 9 个同样的形状，所以在弹出的对话框中输入 9 ㉒。




## 步骤 13

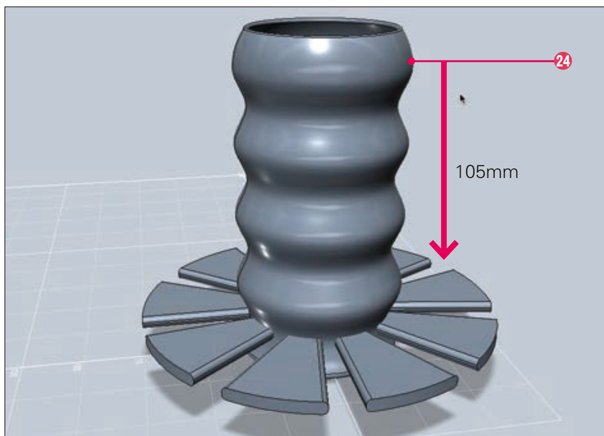
如图所示确认显示了 9 个同样的形状㉓后，按回车键（Mac 为 Return 键）执行按照圆形阵列进行的复制。

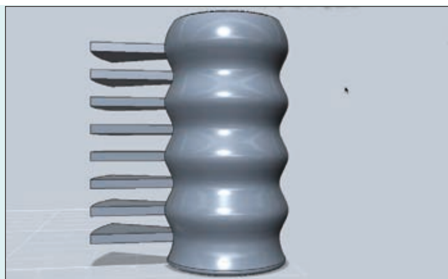



## 步骤 14

完成如上步骤后笔筒的模型状态如图所示。

下面将这个阵列排列在其他段的凸处和凹处。由于凸处和凹处的间隔为 15mm，共有 8 段凸凹部分，所以最顶部的洞和最底部的洞之间的距离为 105mm ㉔。

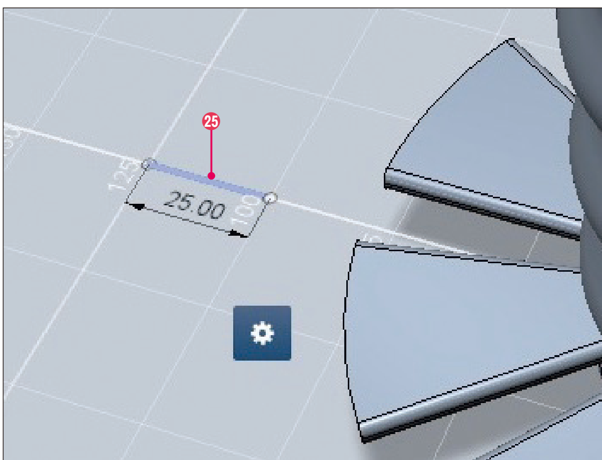



> **提示**
>
> 右图即为步骤 14 说明的效果图，也就是在每段凸处和凹处都复制用于开洞的实体。
>
> 

## 步骤 15

但是为了在垂直方向上复制实体需要一条与圆筒的轴方向平行的边或是直线，但现有的模型上还没有这样一条边或线，所以需要虚设一条直线。

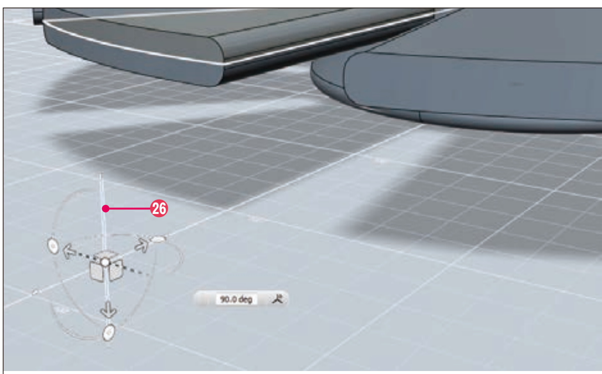
首先，选择 [Sketch] → [Polyline]，画出如图中所示的一条短直线㉕（位置和长度都没有特别的要求）。




## 步骤 16

然后选择 [Transform] → [Move]，将画出的直线草图转动 90 度，呈与绘图平面垂直的状态㉖。

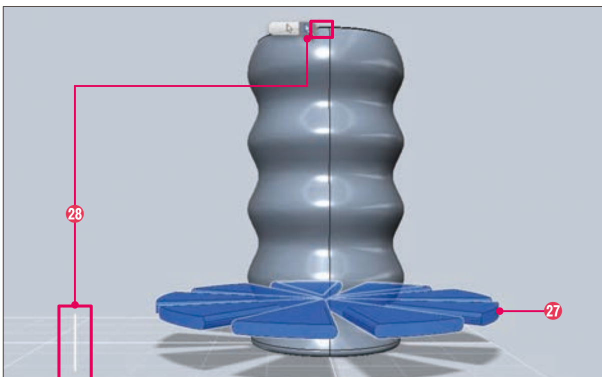
我们就利用这条线来指定实体形状的纵向复制。




## 步骤 17

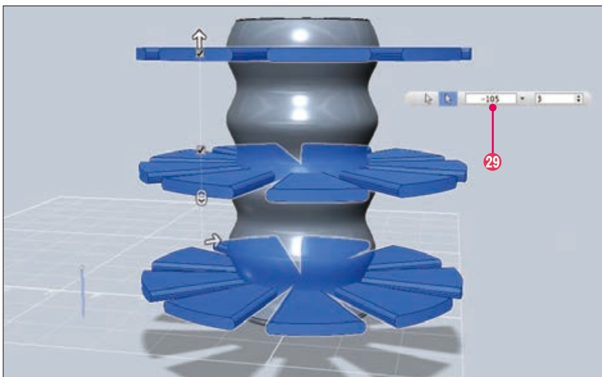
选择 [Pattern] → [Rectangular Pattern]，选择 9 个开洞实体㉗。9 个实体需要逐个选择。

然后指定复制方向。选择选项右侧的箭头（Directions）后，指定之前做好的虚设直线为复制方向㉘。



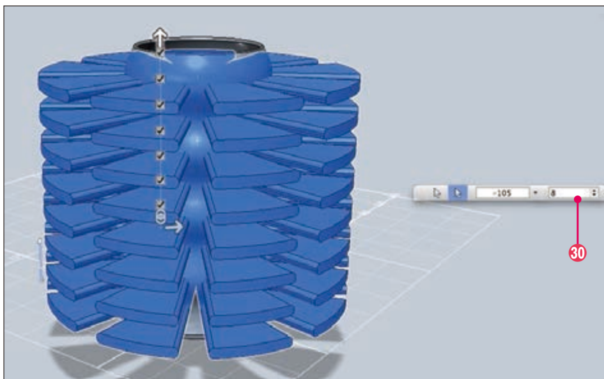

## 步骤 18

将箭头向上方拉则会显示包括原实体在内的三组形状（默认）。这时在对话框中输入整体的长度为 105 ㉙。105mm 为开洞实体所处的最下面的凹处到最上面的凸处之间的距离。



## 步骤 19

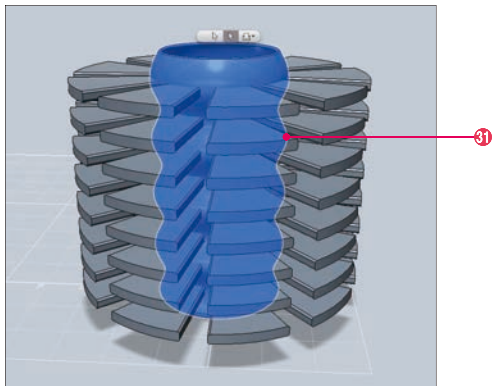
实例数输入 8 ㉚。这样就会呈如图所示的多刺状态。



## 步骤 20

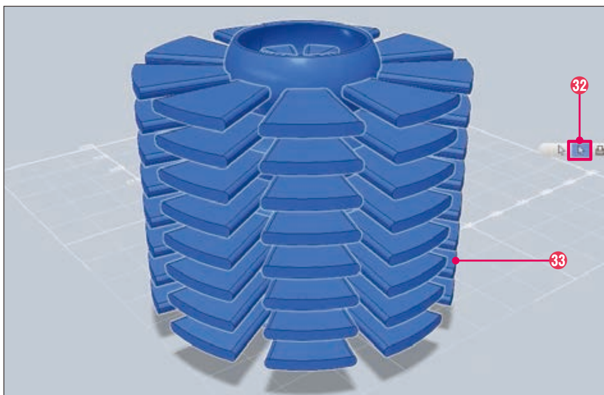
为了在笔筒上开洞，需要做从笔筒主体上减去开洞实体的运算（集合运算）。

选择 [Combine]，先点击笔筒的实体㉛。这个操作的顺序非常重要，如果顺序错了就会做出完全不一样的形状。



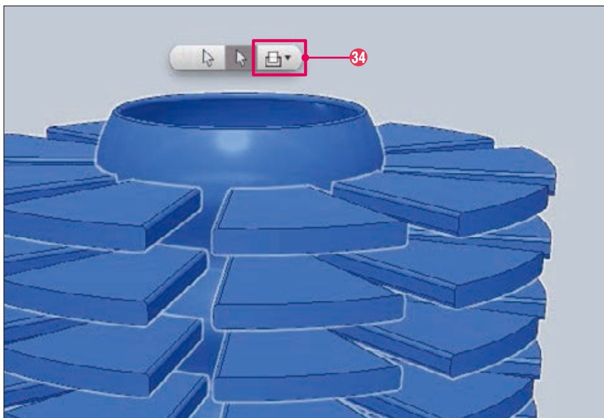
## 步骤 21

然后点击对话框右侧的箭头（Toll Bodies）㉜，再点击开洞实体㉝。这里开洞实体很多，但仍需要耐心地逐一选中。



## 步骤 22

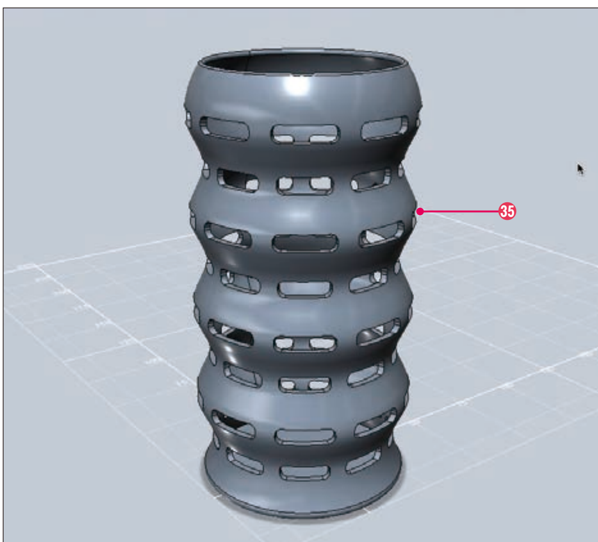
在所有实体都高亮显示后，确认 [Combine] 的选项为 [Subtract]（减法）㉞，按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。



## 步骤23

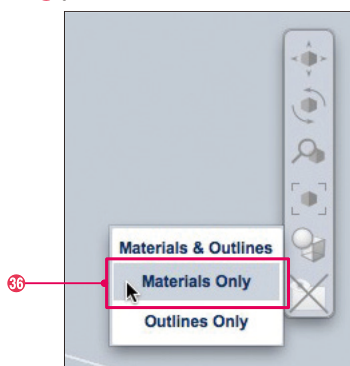
这样笔筒就完成了。从笔筒主体减去用于开洞的扇形形状后就会形成如右图所示的效果㉟。

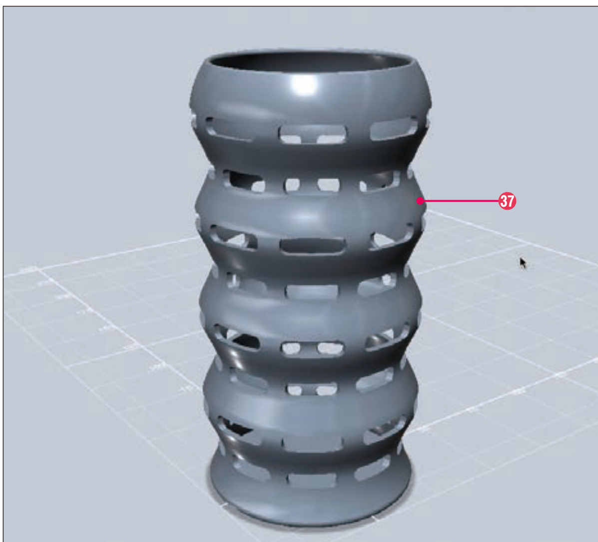
从 [Material] 中指定任意材质，可以看到备选的有木纹、金属、塑料等各种材质和颜色效果。




## 步骤24

将显示模式设为 [Materials Only]（隐藏边缘线）㊱后，模型看起来就更加美观了㊲。



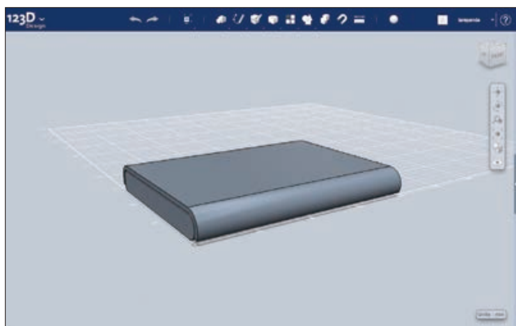



第5章

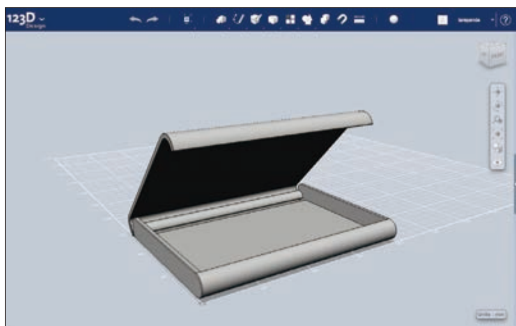
# 5.2 制作名片盒

下面，我们来建模实用的名片盒。这个名片盒由可开合的盒盖和存放名片的底盒这两个零件组成。123D Design 虽然没有提供将多个零件按照指定的位置和方向进行组合的功能（即装配功能），但可以将多个实体视为零件分别进行处理。而且还提供了根据需要显示或隐藏立体形状的功能，所以下面我们就利用这些功能来制作名片盒。

图 ■ 名片盒



盒盖关闭状态



盒盖打开状态

## 5.2.1 探讨建模方法

本次需要建模的是图中的名片盒，那么该如何建模呢？

### 名片盒的最佳规格

顾名思义，名片盒是用于放置名片的盒子。我们需要先通过名片的大小来推算出名片盒的大小，还要根据存放名片的数量来决定盒的厚度（高度）。

虽然也有一些大小和形状比较个性化的名片，但这里权且按照常见名片的大小来设计名片盒。日本的标准名片大小为 91mm × 55mm ①，美国使用的名片比这个尺寸稍小，如果按照日本的规格来做的话也能放下，所以我们根据这个规格得出名片盒的尺寸参考因素如下。

1. 比 91mm × 55mm 略大
2. 考虑盒壁及底面的厚度
3. 留出盒后方设置转动轴的空间

① 中国国内通用的标准名片尺寸为 90mm × 55mm。——译者注

考虑以上几个因素即可得到盒体的设计尺寸规格。

图 名片盒的规格（底盒）

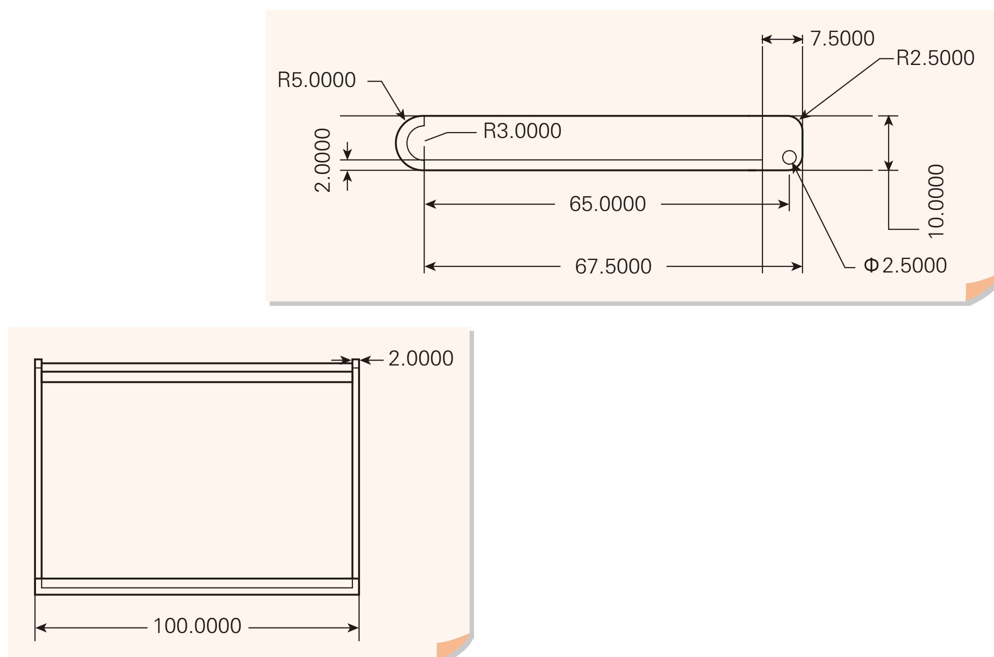
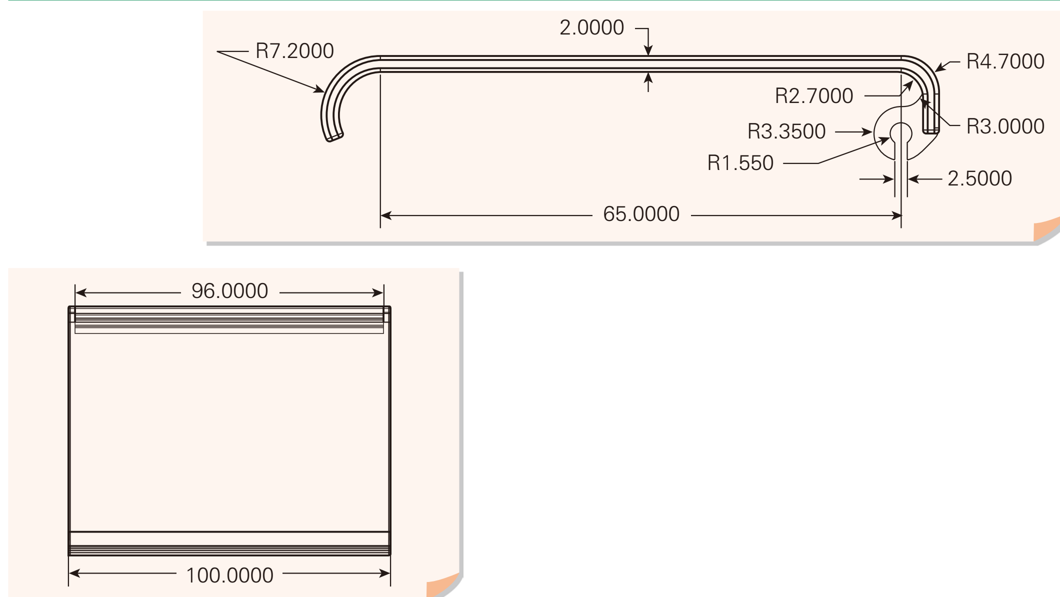



图 名片盒的规格（盒盖）



## 盒壁厚度

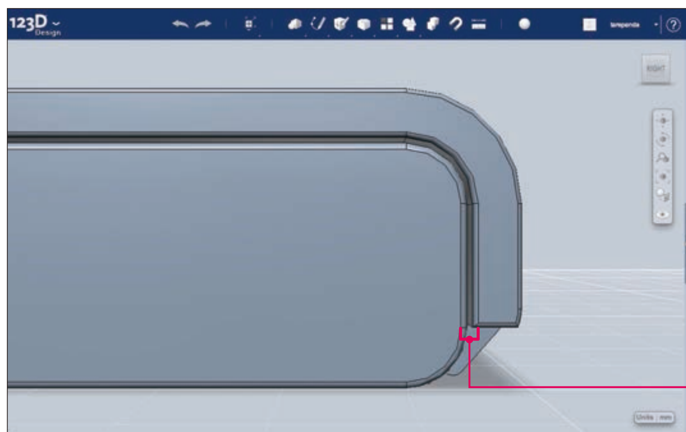
盒壁及底盒的适宜厚度是多少呢。虽然从 3D 建模的角度讲什么样的厚度都可以实现，但如果将厚度设计得过薄，物品可能会非常容易损坏或甚至在那之前就无法实际成型。

虽然我们见过许多用钣金制成的名片盒比这个尺寸更轻薄时尚，但那种造型仅局限于通过使用金属材料的钣金制作工艺才可以实现。从设计角度当然希望外形尽量轻巧，但 3D 打印通常采用熔融树脂沉积的方法（参见本书 1.4.1-3 的内容），所以物品最小厚度为 1mm、如果想同时兼顾其强度则最好达到 2mm 才比较保险。我们在做设计时要综合考虑这些物理方面的制约因素来确定产品设计的规格。

## 设置合理的间隙

所谓间隙是指结合在一起的多个零件之间的缝隙。虽然从 3D 数据建模的角度来看两个零件紧密贴合在一起的效果比较美观，但对于实际的现实成品来说，还是需要适当设置间隙的。这是因为无论多么高精度的 3D 打印机，也不可能 100% 严格按照设计规格打印输出，而是必然会产生或多或少的误差。因此，万一打印出来的实物尺寸稍大于设计尺寸，没有设计相应间隙就可能无法把零件组装在一起了。

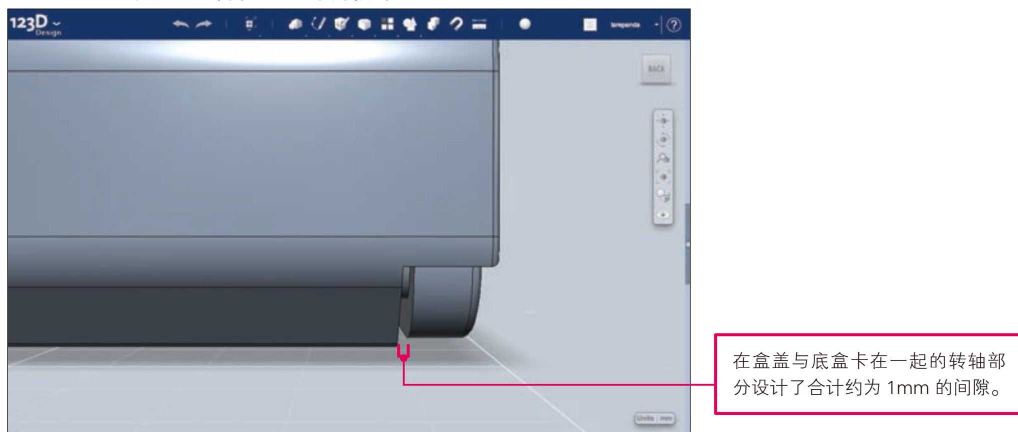
所以，对用于制造的 3D 建模，需要在建模阶段设计相应的合理间隙。请看下图，这是本章将要制作的名片盒的侧视图，在盒盖与底盒之间设计了一定程度的间隙。




图中的数据中，在上部的盒盖与下部的底盒组合在一起的部分设定了一些间隙。这种建模时对打印误差因素的考虑非常重要。

我们再看另外一处。下图为盒盖的转轴部分。在底盒一侧卡扣的侧面位置左右各短 0.5mm、合计约缩进了 1mm。

图 ■ 将盒盖与底盒结合在一起的转轴部分




如上所述，在建模嵌入部位或活动部位时，不要做成精确吻合的形态。因为即使完全按照设计尺寸打印出来也可能会因结合得过紧导致无法顺畅开闭盒盖，而且万一盒盖打印得稍微偏大就不能用了（当然也可以通过后期加工削掉多余的部分）。这时如果留出一些余地来，打印误差就能化解掉了，而且即使底盒稍小一点（稍松一些）也不会影响整体功能。

提示

切削加工的制作方式通常在建模时设计精密吻合的数据，在制造时通过制造者指定允许变动量（可接受的误差）、即所谓的“公差”来指导实际的制造精度。但对于 3D 打印来说，这个误差是由打印机造成的，所以最好在建模阶段将这个误差因素考虑进去。

## 盒盖的形状

盒盖的形状需要根据底盒的形状来设计，所以最好是在底盒建模基本完成后再开始建模盒盖。这部分我们需要先制作板状的盒盖部分，然后再建模与下侧的轴结合的部位。

不过，123D Design 并不具备干涉检查等功能，所以不太容易确认啮合的状态。但是仍可以通过关闭盒盖的状态和打开盒盖的状态来仔细确认组合情况，从而验证上下两部分在实用状态下是否有不合适的地方，并进行相应调整。

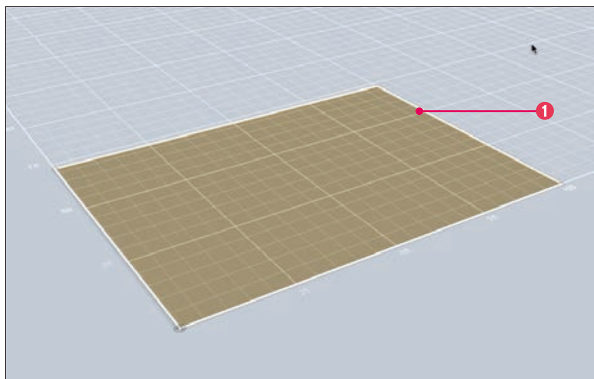
## 5.2.2 底盒的建模

我们先从底盒的零件开始，按照如下步骤建模。

### 步骤 1

我们以日本的标准名片大小 91mm × 55mm 为基础，考虑到盒体厚度及预留安装盒盖部分的空间，将这部分的尺寸定为长 100mm × 宽 72.5mm。

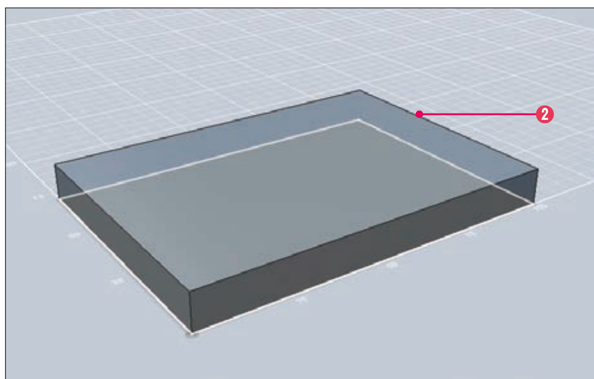
选择 [Sketch] → [Rectangle]，画出 100mm × 72.5mm 的长方形❶。



### 步骤 2

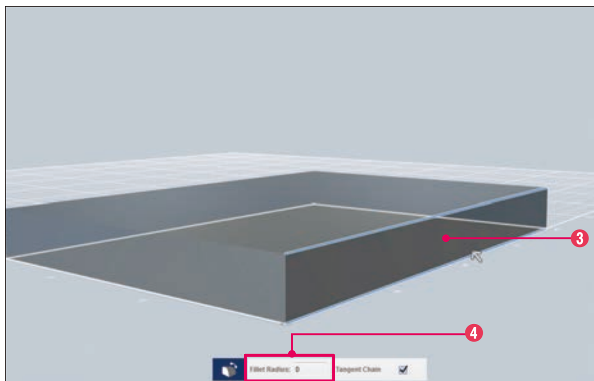
向上直推画好的截面形成立体形状。

选择 [Construct] → [Extrude] 并点击截面，在弹出的对话框中输入 10mm ❷。



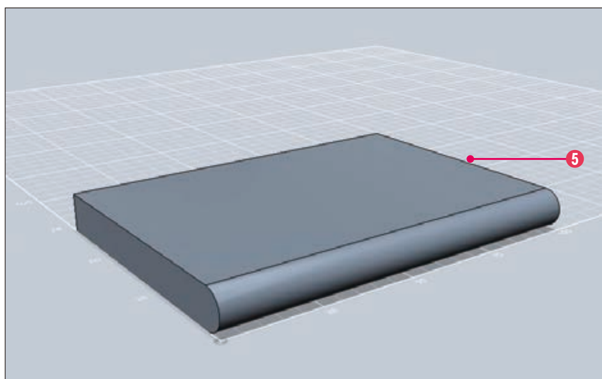
### 步骤 3

将盒体正面处理为半圆形效果。由于高度是 10mm，所以正面的上下两条边分别按照 R=5mm 来处理就正好形成半圆形效果。选择 [Modify] → [Fillet]，点击盒的正面❸，在对话框中输入 5mm ❹。



## 步骤 4

这样就完成了盒体的基础形状❺。现在内部还是实心的，所以需要进行挖空作业。

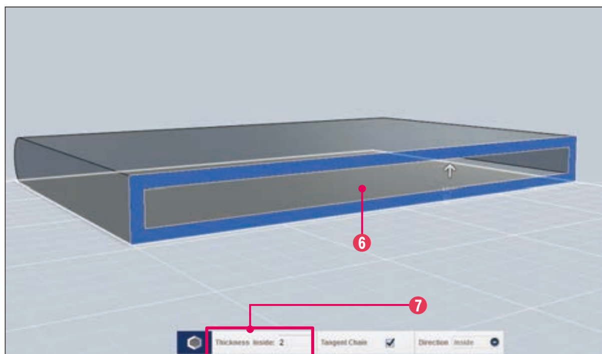


## 步骤 5

为了挖空内部，先调转模型，将模型的背面转到前面来。

然后选择 [Modify] → [Shell]，点击盒体的背面❻，在弹出的对话框中输入 2mm ❼。

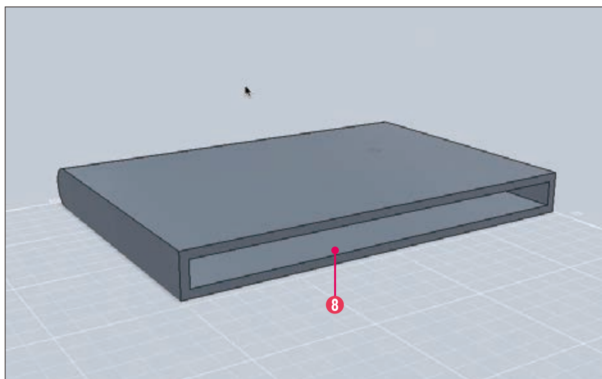
从这个面向内部挖空，盒壁厚度留为 2mm。



## 步骤 6

这样内部就被挖空了❽。

> **提示**
> 如果实体为板状，将厚度指定为 2mm 的话，基本上所有的 3D 打印机都可以正常打印出来。

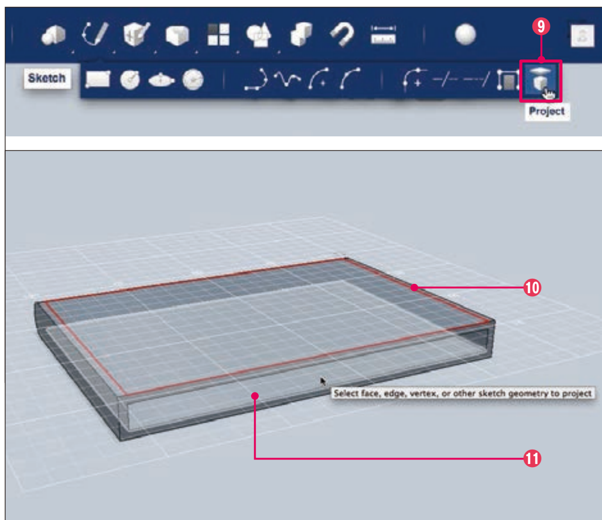


## 步骤 7

接着要去掉顶面的部分。为了易于选中顶面，需要将建模的视角调整为从斜上方看。

然后选择 [Sketch] → [Project] ❾，点击顶面❿。

接着选择内侧的整个底面⓫。这样这个面的边就投影在顶面上了。

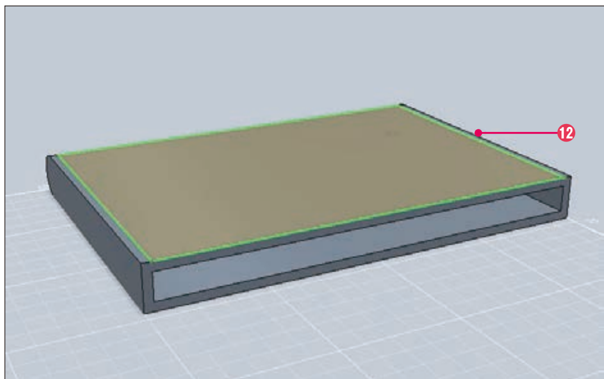


提示

有很多种方法可以去除顶面，但对于本次建模来说，借助已经挖空的内部尺寸绘制草图并执行直推指令来去除顶面是最简单的方法，所以在如上的步骤中将底面内部的尺寸投影到顶面上。

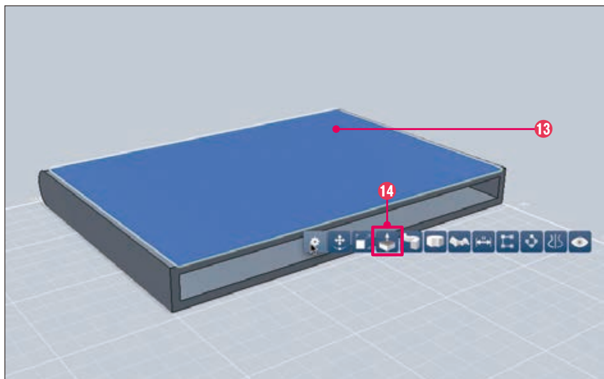
## 步骤 8

绿色的线即为投影得出的线⑫。由于绿色的线所围出的区域显示为茶色即为闭合区域，所以可以使用直推指令。




## 步骤 9

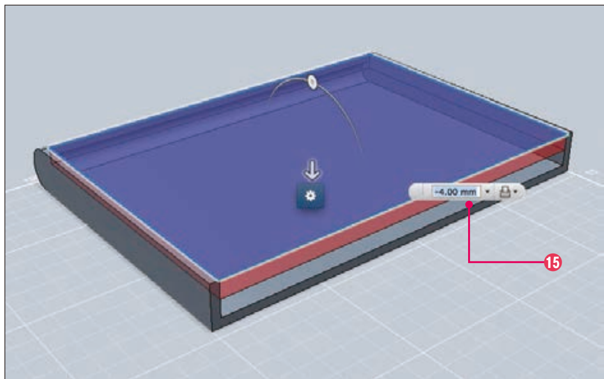
在不选择任何指令的状况下选中这个茶色的面⑬，点击弹出的齿轮图标，选择 [Extrude] ⑭。




## 步骤 10

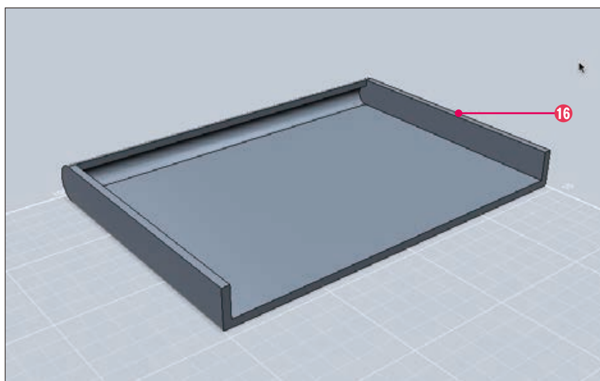
向下方直推。由于顶面的厚度是 2mm 所以至少要直推 2mm，但也要注意如果直推的距离超过 8mm 则会削掉底面的部分。

在对话框中输入 –4mm ⑮。显示为红色的区域即为将被去除的部分。



## 步骤 11

如图所示，这样就完成了底盒的基础形状⑯。之后只需制作后面安装盒盖的部分即可。



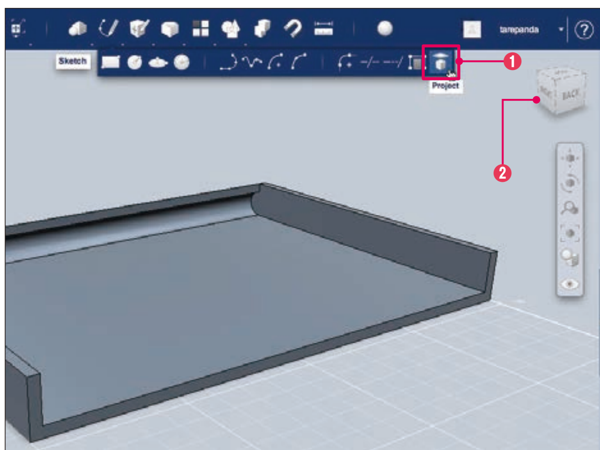
## 5.2.3　建模安装盒盖的部分

下面将以完成的底盒基础形状为基础，按照如下步骤建模安装盒盖的部分。

## 步骤 1

为了制作安装关节，要将底板的后侧切掉 7mm 左右，下面制作用于切削的草图。虽然这个草图也可以从零做起，但借助现有的边则可以轻松做出准确的草图。

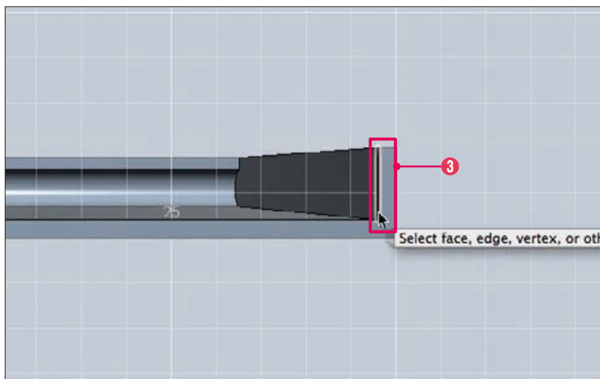
选择 [Sketch] → [Project] ❶。为便于操作，点击画面右上方 View Cube 的 BACK ❷，切换到模型背面的视角。




## 步骤 2

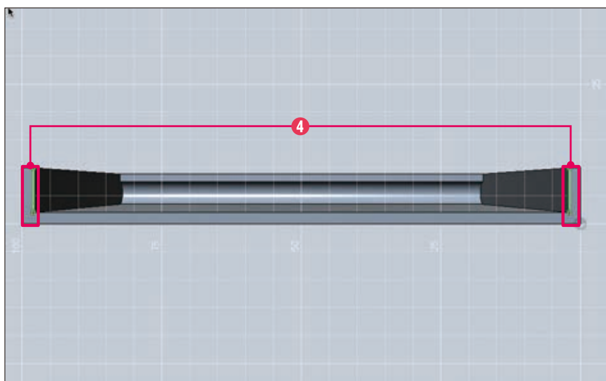
指定草图面（投影并制作草图的面）。这里指定的是名片盒的背面。

先选择盒体右壁板内侧的边❸。



## 步骤 3

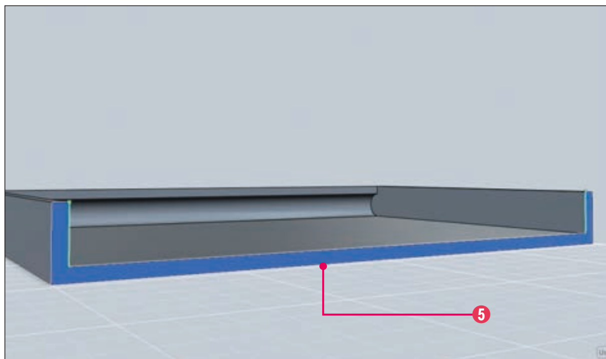
之后再点击左壁板内侧的边。如图所示，这样就完成了两条绿色的线❹。得到这两条绿色的线后按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。




## 步骤 4

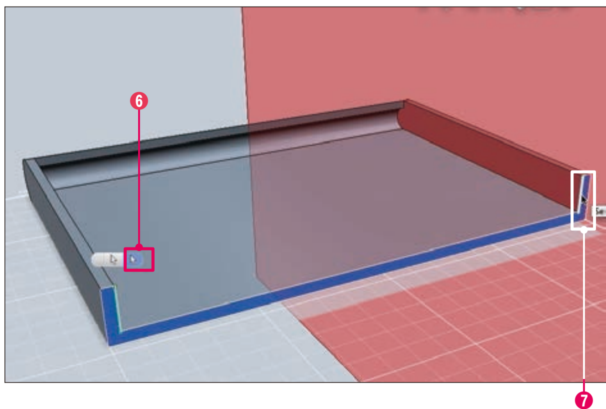
下面将呈现凹字型的面切分成左右短板部分的面和底部长板部分的面。

选择 [Modify] → [Split Face]，选中凹字型面❺，即准备进行切分操作的面。




## 步骤 5

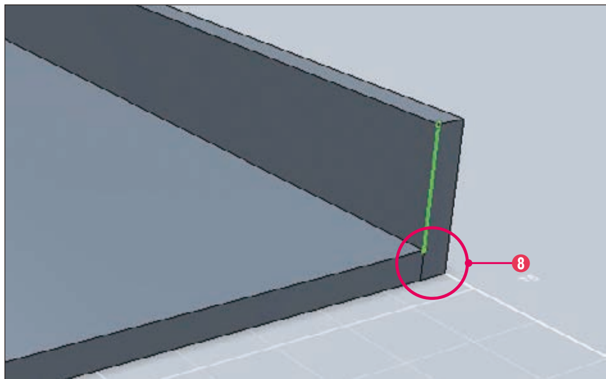
在弹出的选项中选择右侧箭头（Splitting Tool）❻，点击右侧的绿色线❼。这条线将充当切分指定面的“刀”。在这条线的后方会显示出红色的平面，凹字型面将被这个红色的面切分。在如图所示的状态下按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。




## 步骤 6

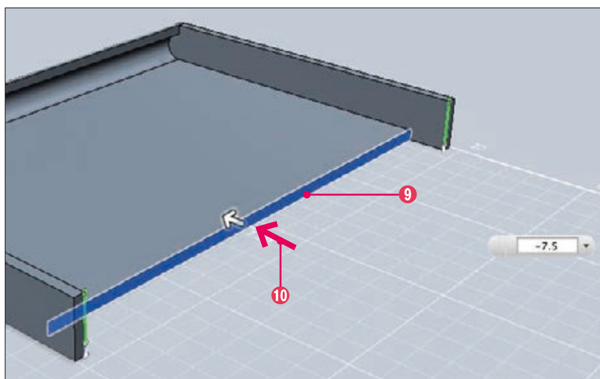
这里可以看出绿色线的下方已经被切分开了❽。

按照步骤 4~5 对左侧的绿色线也进行相同的操作即可把底面完全切分出来。



## 步骤 7

使用左右的线完成底面的切分后，选择 [Modify] → [Press Pull]，点击图中的蓝色部分❾，将这个底板的背部截面朝向名片盒的前方移动约 7.5mm ❿。

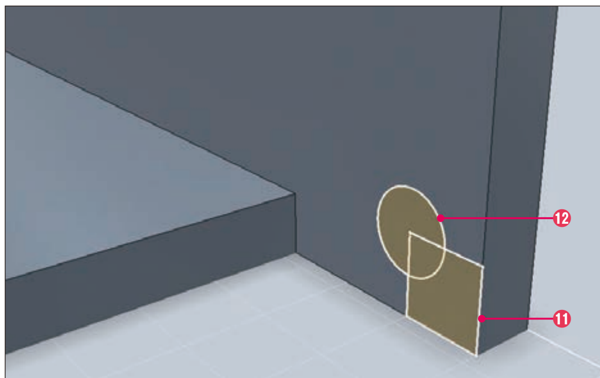



## 步骤 8

下面制作安装盒盖的转轴。转轴的直径为 2.5mm，轴心设于距盒背面和底面都为 2.5mm 的位置。

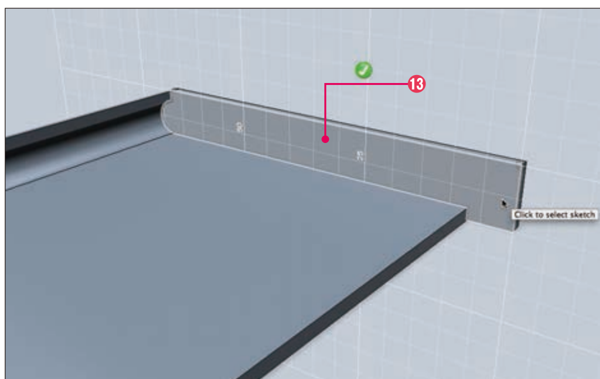
为了制作转轴需要在侧壁内侧绘制圆形草图，而确定这个圆形草图的圆心位置，则需要先绘制辅助线。

右图为草图的完成图。先以侧壁的角为顶点画出正方形的草图⓫，再以该顶点在正方形上的对角顶点为圆心画出圆形⓬。



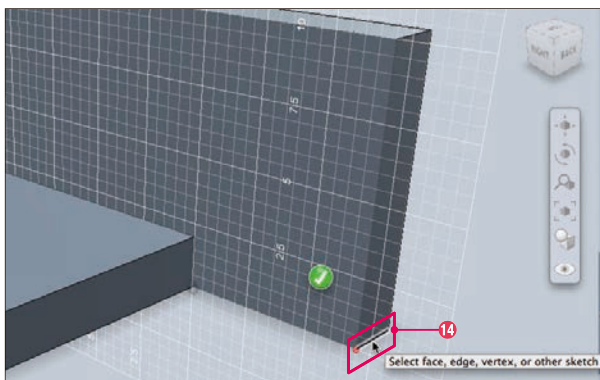

## 步骤 9

这里我们将盒体右壁板作为草图面来投影。首先选择 [Sketch] → [Project]，选中右壁板的内侧面⓭。



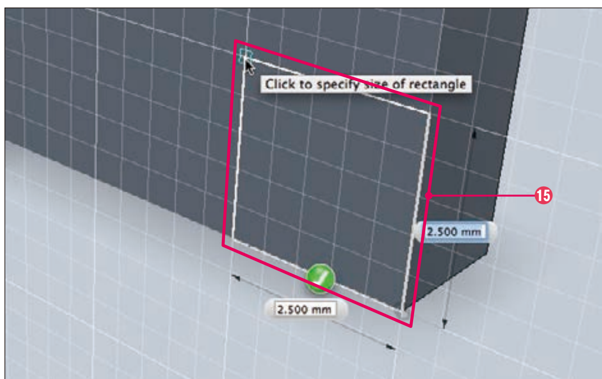

## 步骤 10

之后选择右壁板背面的底边⓮。



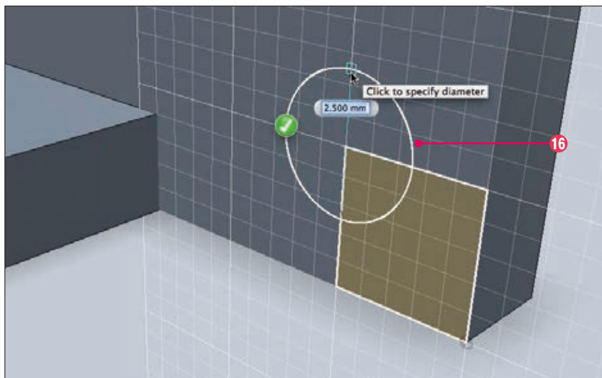
## 步骤 11

选 择 [Sketch] → [Rectangle]， 以右下角为起点画出边长为 2.5mm 的正方形的草图⑮。




## 步骤 12

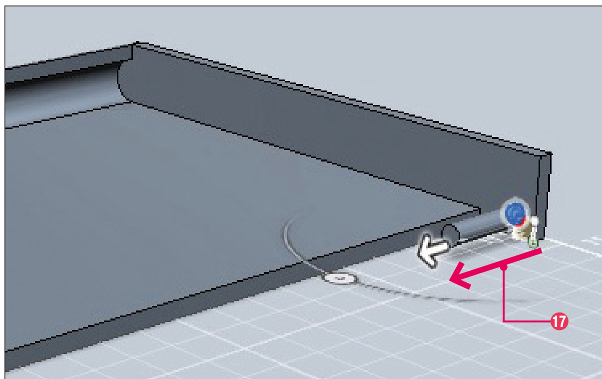
选择 [Sketch] → [Circle]，以正方形的左上角为圆心画出直径为 2.5mm 的圆的草图⑯。




## 步骤 13

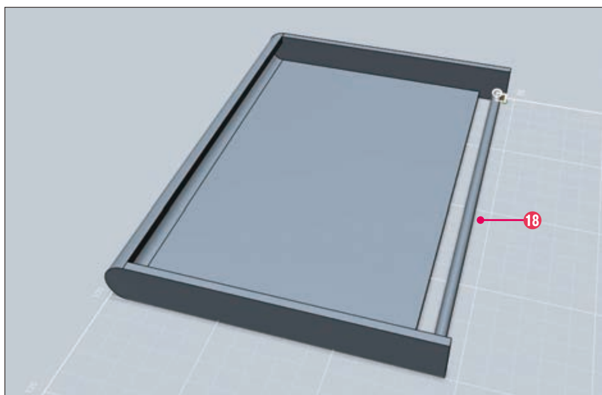
这样就画出了制作转轴的圆形草图。下面使用 [Extrude] 指令直推这个圆。

选 择 [Construct] → [Extrude]， 按照盒体的内侧长度直推 96mm ⑰。




## 步骤 14

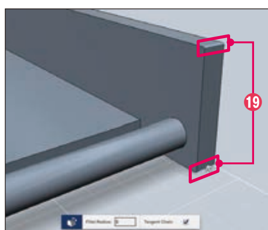
延伸到左端后安装盒盖的转轴就完成了⑱。



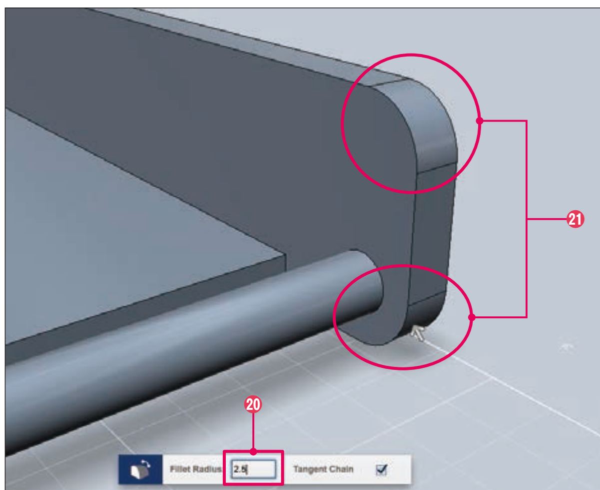
### 步骤 15

接下来我们要将盒体的背部倒圆角。

选择[Modify] →[Fillet]，选中背面的上下边⑲，在对话框中输入2.5mm ⑳，如图所示完成倒圆角㉑。

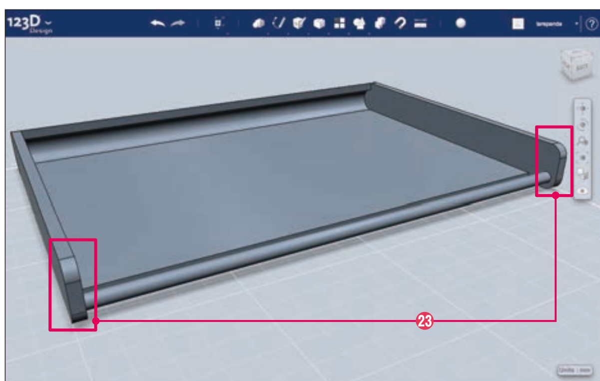





### 步骤 16

4 个角都修圆后，即完成了底盒的建模㉒。




## 5.2.4　建模盒盖

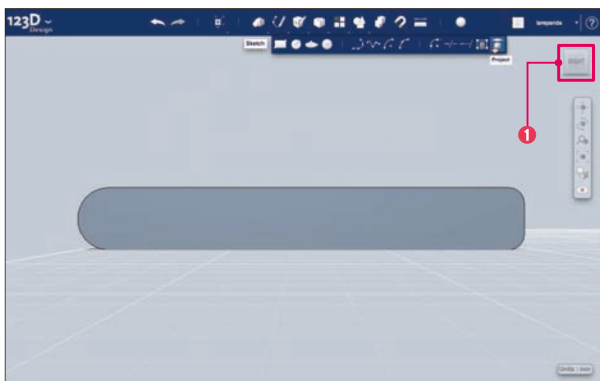
最后以底盒为基础制作盒盖。按照如下步骤建模。

### 步骤 1

利用底盒制作盒盖截面的轮廓。

点击画面右上方 View Cube 的 RIGHT ❶，显示模型侧面。

> 提示
>
> 这里以盒的左侧面为例，实际操作中也可以使用右侧面。

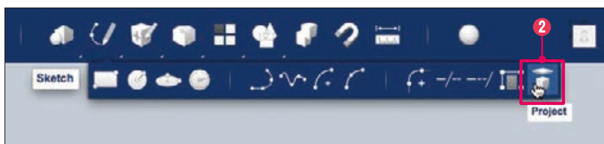


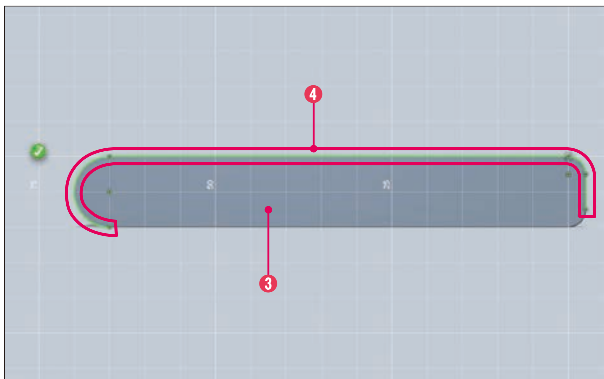
## 步骤 2

首先要绘制基准线。

选择 [Sketch] → [Project] ❷，选中该视角下盒体的正面❸。

然后选择构成这个正面的轮廓边。选择的边包括：左侧的半圆、上侧的直线、右上侧的圆弧、右侧的直线。如图所示选中后即显示出绿色的投影线❹。

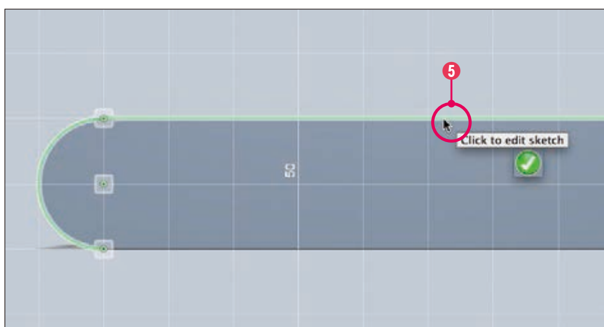


## 步骤 3

之后以投影出来的绿色线为基础绘制盒盖的轮廓线。

选择 [Sketch] → [Offset]，将光标移到绿色线上，点击弹出的 [Click to edit sketch] ❺。这样绿色的线即成为草图面。

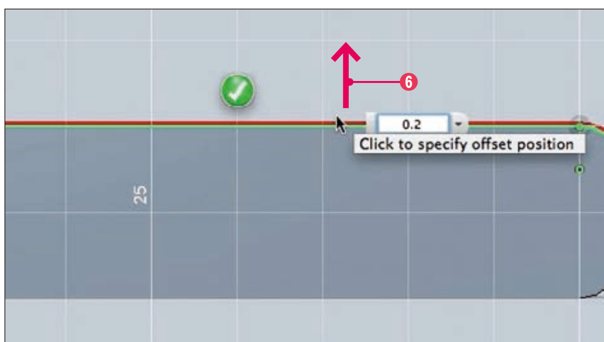



## 步骤 4

下面选择偏移的线。这里要偏移绿色线所以再次点击绿色线，并将其直接向上拖动❻。这样就会显示偏移出来的线（红色线）。

在弹出的对话框中输入 0.2mm，按回车键（Mac 为 Return 键）。

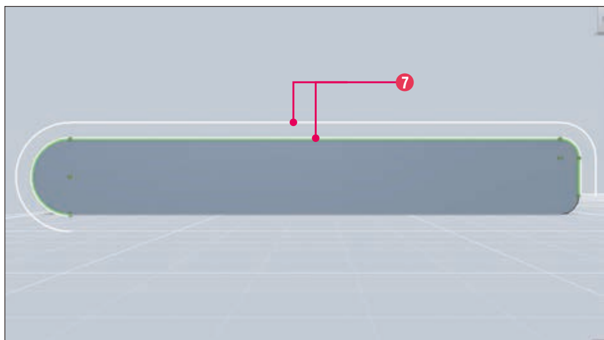
这样就在底盒外侧 0.2mm 处画出了一条线。




## 步骤 5

以同样的步骤在绿色线外 2.2mm 处再画一条线。

这样在绿色线外侧 0.2mm 处和 2.2mm 处都画好了线。完成效果如图所示❼。





## 什么是偏移

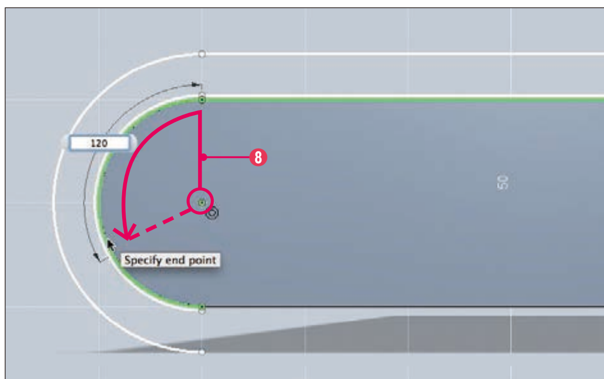
专栏

所谓偏移就是将线或面沿指定方向移动来制作与原线或面的相似形状。对于 CAD 软件来说，无论是 2D 还是 3D 建模，这个操作都经常会用到的，大家最好能够熟记。

### 步骤 6

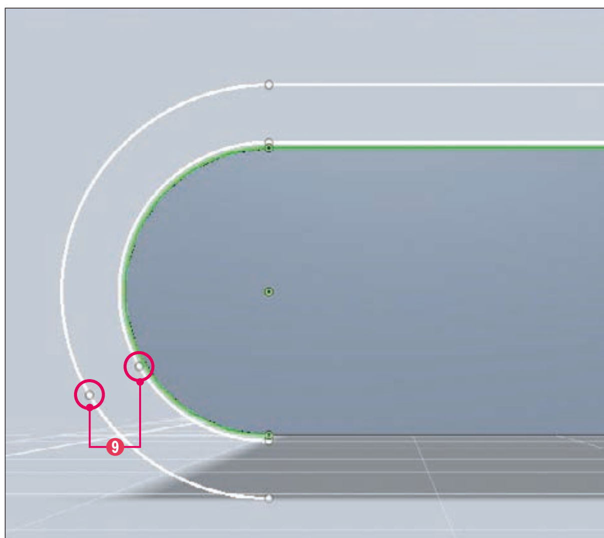
由于盒盖的前面并不是呈完全覆盖的半圆形状态，而是可以挂住即可，所以将盒盖顶端设置在与顶面成 120 度角的位置。

选择 [Sketch] → [Two Point Arc]，将内侧半圆和外侧半圆的角度分别指定为 120，绘制圆弧❽。



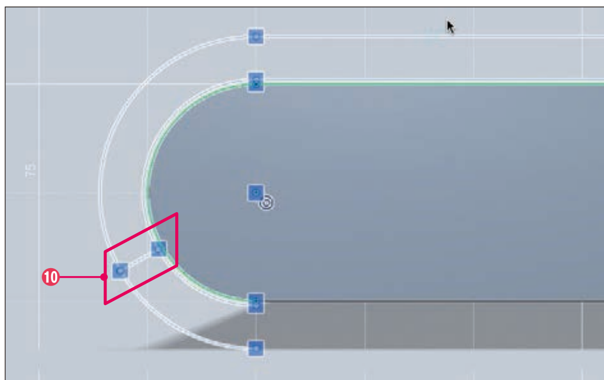

### 步骤 7

这样在内侧半圆和外侧半圆与顶面成 120 度角的位置上就分别确定了圆弧的端点❾。




### 步骤 8

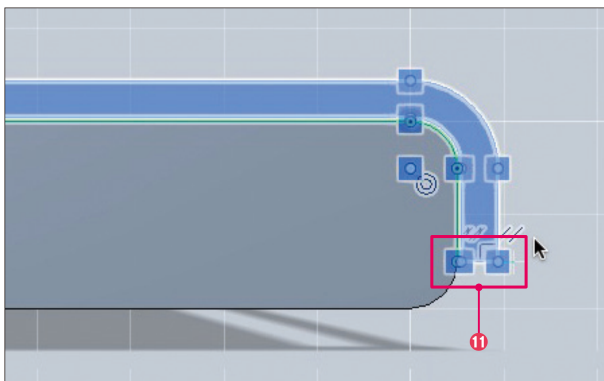
选择 [Sketch] → [Polyline]，绘制连接两个端点的直线❿。



## 步骤 9

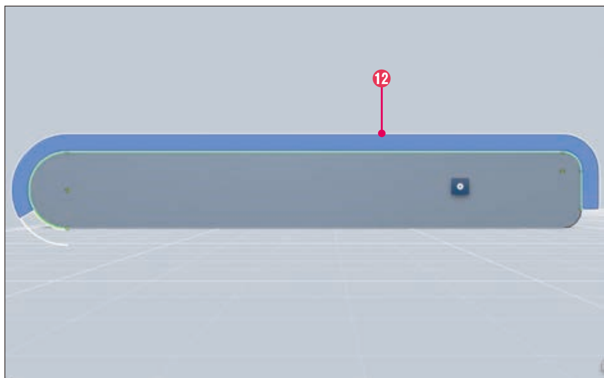
然后我们来制作盒盖的后端。

选择 [Sketch] → [Polyline]，如图所示将后侧两条线的端点用直线连接起来⓫。



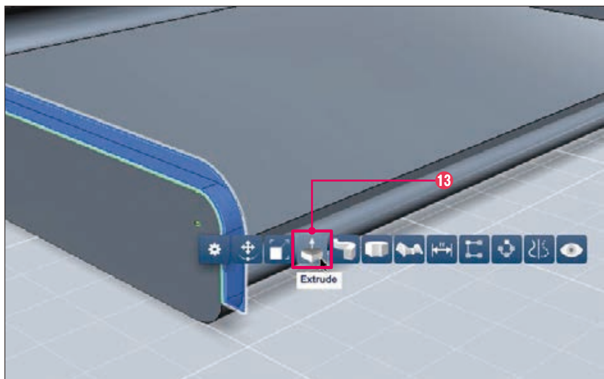

## 步骤 10

这样盒盖的截面即显示为图中的蓝色闭合区域所⓬。直推这个截面即可做出盒盖。



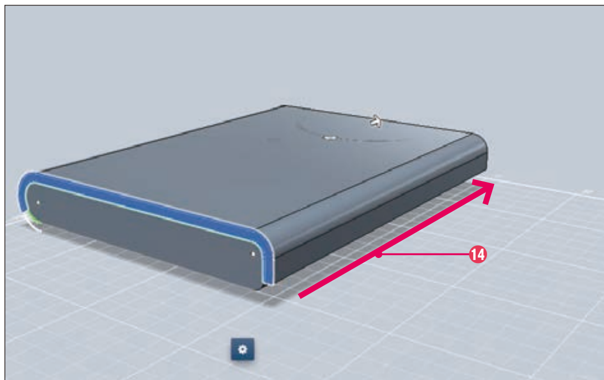

## 步骤 11

在没有选择任何指令的状态下选择这个区域，从弹出的齿轮图标中选择 [Extrude] ⓭。



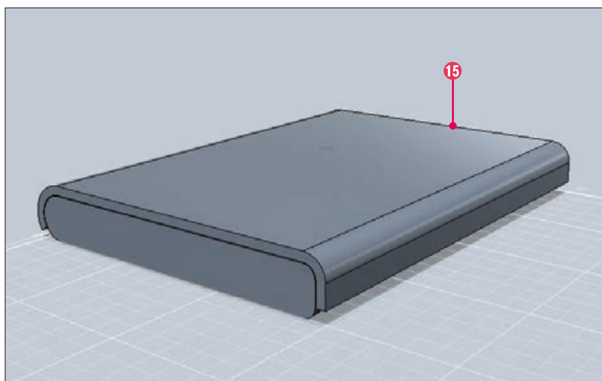

## 步骤 12

在对话框中输入 –100mm，即可直推出与底盒同样的长度⓮。



## 步骤 13

这样就完成了盒盖的基础形状⑮。




## 5.2.5　建模底盒与盒盖的结合部分

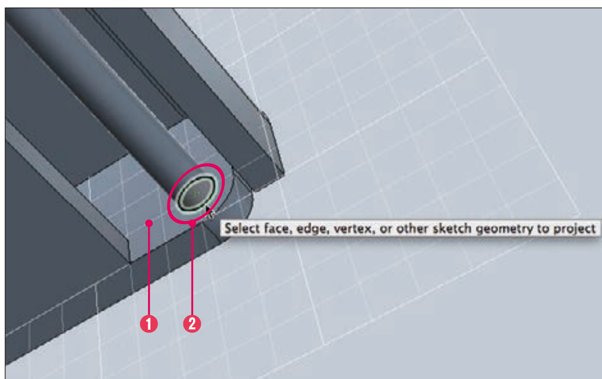
下面制作位于盒盖下方、用于与底盒结合的部分的形状。在设计多个零件组合时需要在掌握各部分形状的基础上决定零件的规格和位置。请在阅读以下内容时充分注意这一点。

## 步骤 1

在制作嵌入转轴的配件时需要相应的参考基准（即转轴的位置信息），所以要先将转轴的位置投影在草图面上。

选择 [Sketch] → [Project]，先点击侧壁板的内侧（制作转轴时画草图的面：参见本书 5.2.3– 步骤 12 的内容）指定草图面❶。

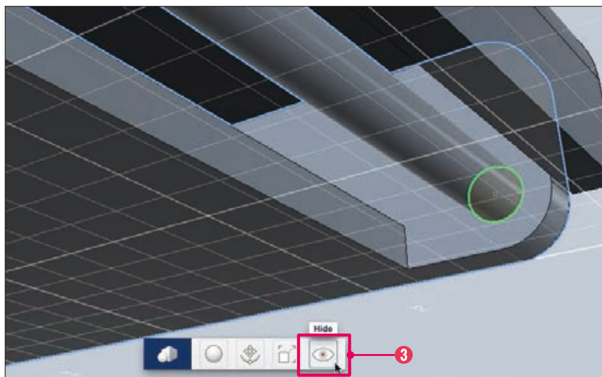
然后点击转轴与侧壁板相接的边❷。这时会显示出边的绿色投影线。




## 步骤 2

在建模盒盖时下方的底盒比较碍事，所以暂时将其隐藏起来。

在没有选择任何指令的状态下点击底盒，选择弹出的眼睛图标❸。

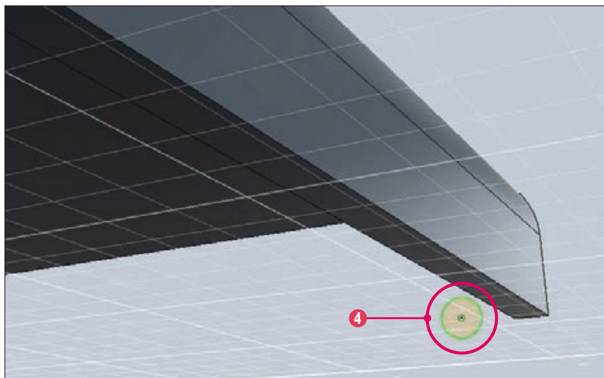


**警告！**

由于仅有被选中的蓝色显示部分会被隐藏，所以这里需要使底盒整体显示为蓝色而不是仅点击其中一部分。

## 步骤 3

这样，画面中就仅会显示出盒盖及投影出来的转轴截面的轮廓线❹。

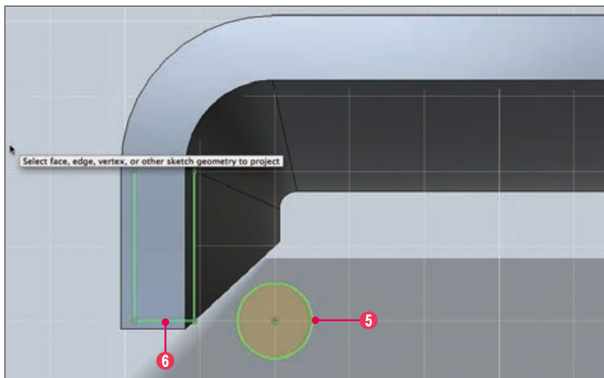



## 步骤 4

将制作配件的区域拉近扩大。

在与之前使用 [Project] 指令制作的圆的同一平面上投影盒盖侧面的边（之后建模中需要使用）。

选择 [Sketch] → [Project] 后选中圆❺（Edit Sketch Plane），之后选择盒盖侧面的两条竖边和下侧横边（如图所示）作为投影边❻。这样做出了如图所示的绿色线。




## 步骤 5

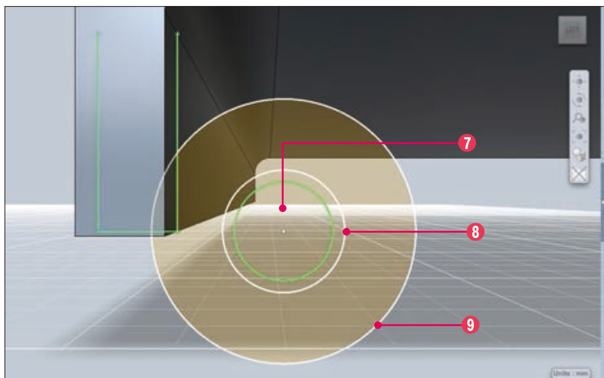
使用 [Offset] 指令使转轴的轮廓线偏移，制作嵌入轴的洞。这样就可以制作出半径分别为 1.55mm 和 3.35mm 的两个圆（参见下面的提示内容）。

选择 [Sketch] → [Offset] 后点击圆❼。

之后选中绿色的圆（偏移线），用鼠标向外侧拖动。这样即显示出红色的同心圆，在对话框中输入 0.3，就做出了半径为 1.55mm 的圆❽。

以同样方法再次选择 [Sketch] → [Offset] 后制作半径为 3.35mm 的圆❾（比原来的圆偏移 2.1mm）。

这样就做出了图中的两个圆（图中白色轮廓线的两个圆）。




**提示**

这里制作的洞用于嵌入转轴（半径 1.25mm），考虑到间隙的因素（参见本书 5.2.1–3 的内容），将洞的半径设为 1.55mm（即位移 0.3mm）。

另外由于嵌入转轴的洞的外壁厚度最少也要 2mm，所以绘制了从 1.55mm 偏移 1.8mm 的 3.35mm 的圆。

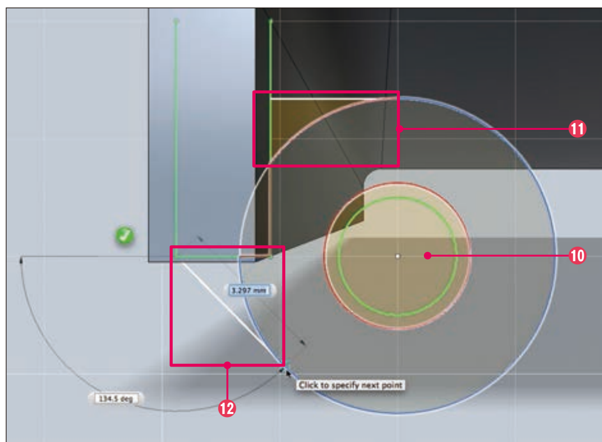
## 步骤 6

再来绘制这个圆筒形配件与盒盖后侧连接部分的草图。

选择 [Sketch] → [Polyline] 后点击圆⑩。

从圆的最顶部向盒盖侧面的右侧竖边投影画一条水平连接线⑪。

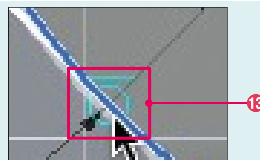
然后以同样的方法从盒盖侧面的左下角开始向圆画再一条连接线⑫。




提示

在上述内容中，从盒盖侧面左下角向圆所画的连接线为与圆平滑过渡的切线。

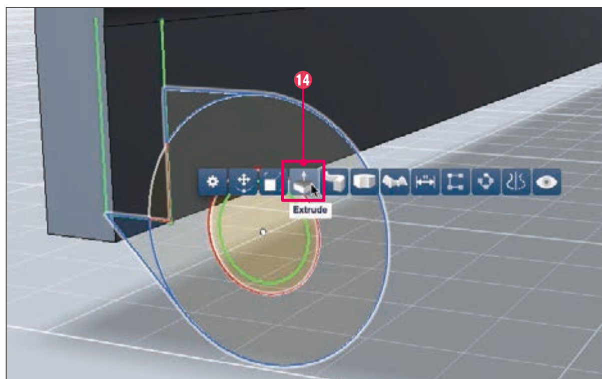
在画切线时需要注意接续点，如图所示在连线时接续点会标识出○符号以便画出正确的切线⑬。




## 步骤 7

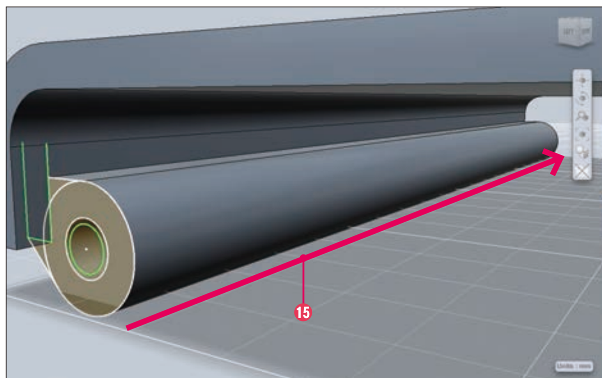
在没有选择任何指令的状态下，选择半径 3.35mm 的圆和 1.55mm 的圆之间的区域，以及在前面步骤中制作的圆筒截面与盒盖连接的区域，从弹出的齿轮图标中选择 [Extrude] ⑭。

在对话框中输入与底盒内侧长度相同的尺寸 96mm。




## 步骤 8

如图所示，这样就做出了盒盖连接处的圆筒形配件，并与做好的盒盖连成一体⑮。



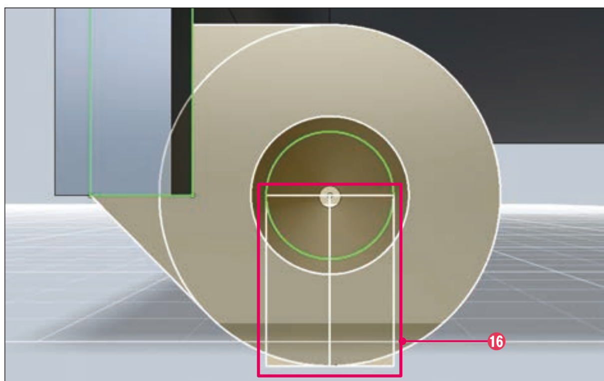
## 步骤 9

虽然已经做好了嵌入转轴的洞，但现在的形状没有豁口，所以无法完成嵌入。

因此我们还要在圆筒的下方开豁口。

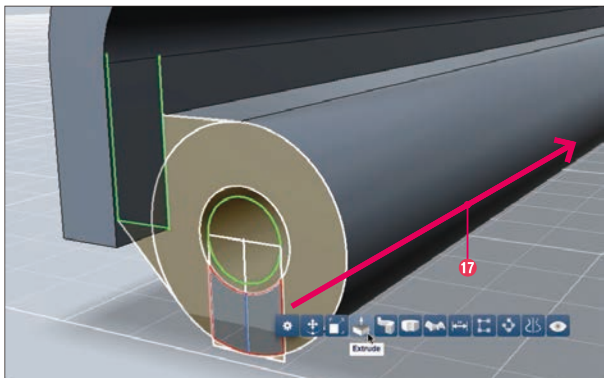
选择 [Sketch] → [Rectangle] 后制作如图所示的长方形截面。这个长方形的宽与转轴的直径相同，为 2.5mm ⑯。

取这个值可以保证 3D 打印出来的成品在嵌入转轴时有足够的卡紧度。



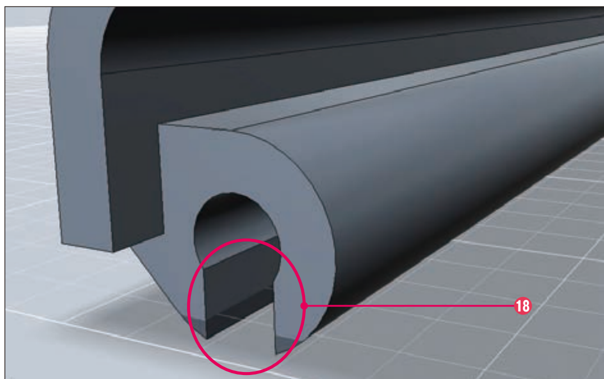

## 步骤 10

从齿轮图标中选择 [Extrude]，选中已经做好的长方形，以 96mm 的长度直推⑰。




## 步骤 11

如图所示，在配件的下方就制作出了可以嵌入底盒转轴的豁口⑱。

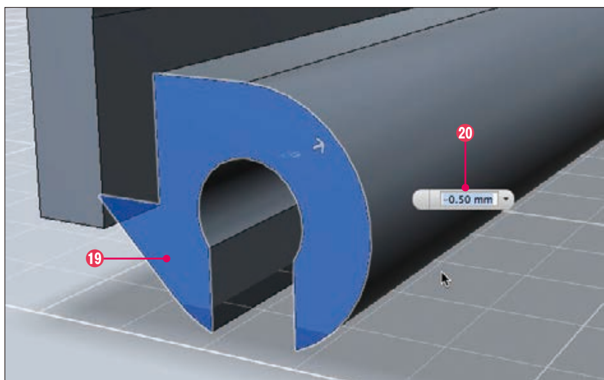



## 步骤 12

现在圆筒的长度度与下方底盒的内侧长度度相同，都是 96mm，这个尺寸虽然从理论上讲是非常吻合的，但由于实际制造时会产生一些误差，所以要将圆筒缩短一些。

选择 [Modify] → [Press Pull] 后，选中圆筒的侧面（图中蓝色的部分）⑲，在对话框中输入 –0.5mm ⑳。

在圆筒的另一侧也做同样的操作，这样合计可以得到 1mm 的间隙。




第5章

实战 产品制造的3D建模之一——制作笔筒、名片盒

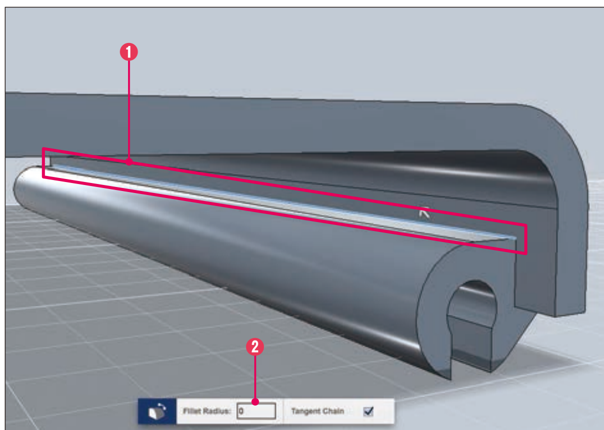
## 5.2.6 名片盒的后期处理

通过上述步骤已经基本完成了名片盒的建模，下面进行细节上的调整。通过边的处理来提高成品的质量。

### 步骤 1

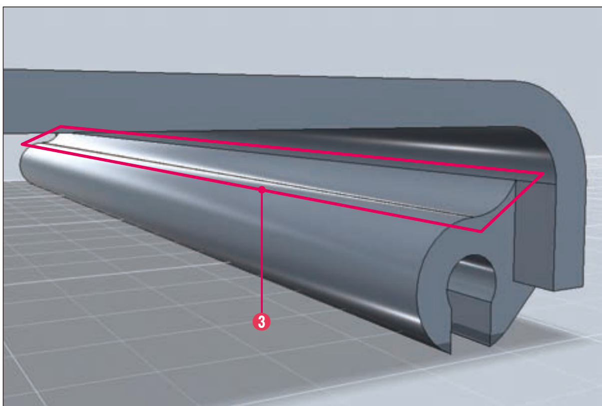
先将图中蓝色的边（嵌入转轴的圆筒与盒盖被面相接的边）以 R=3mm 倒圆角。

选择 [Modify] → [Fillet] ❶，选中边，在弹出的对话框中输入 3mm ❷。




### 步骤 2

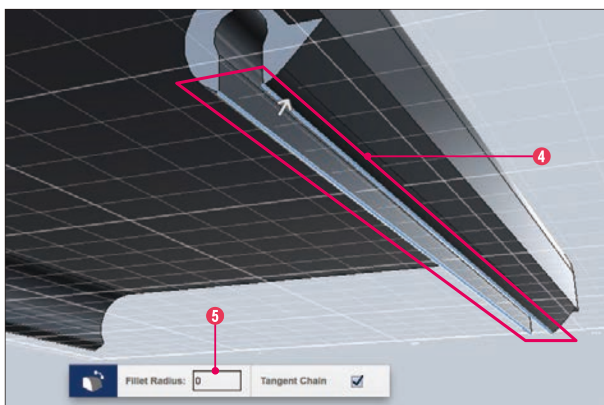
如图所示，这样就在边上得到了 R 角的弧度效果❸。




### 步骤 3

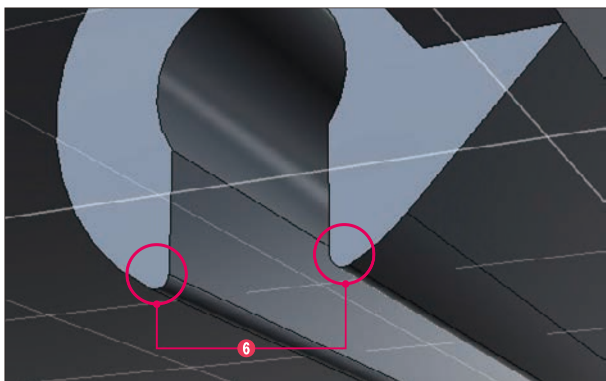
给圆筒豁口部分的边也做 R=0.2mm 的倒圆角，以便能够顺畅嵌入转轴。

按照与前面步骤相同的方法选择 [Modify] → [Fillet]，并选择豁口前后的边❹（图中的蓝色边），在弹出的对话框中输入 0.2mm ❺。



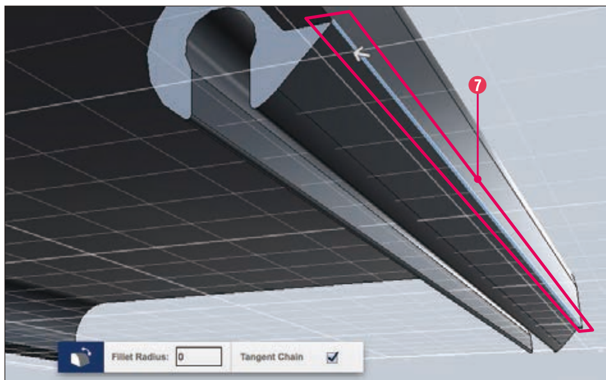
## 步骤 4

如图所示，也得到了 R 角的弧度效果❻。



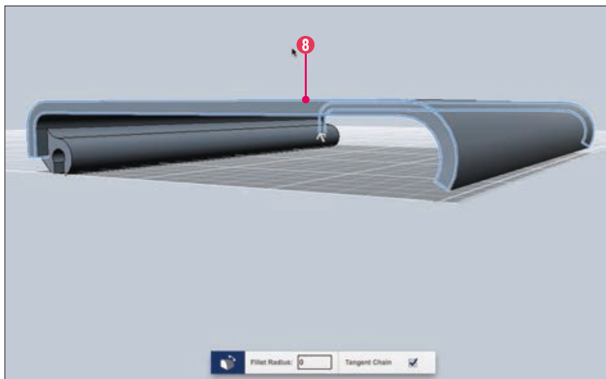

## 步骤 5

以相同的方法选择 [Modify] → [Fillet] 后给圆筒与盒盖背面底部相接的边做 R=2mm 的倒圆角❼。



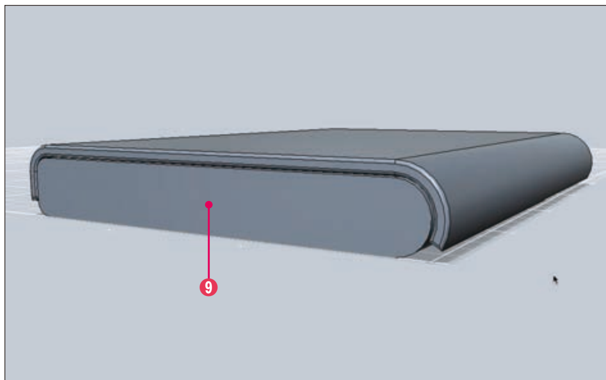

## 步骤 6

下面，对所有上述步骤中尚未处理过的边做 R=0.5mm 的倒圆角处理❽（图中蓝色的边）。



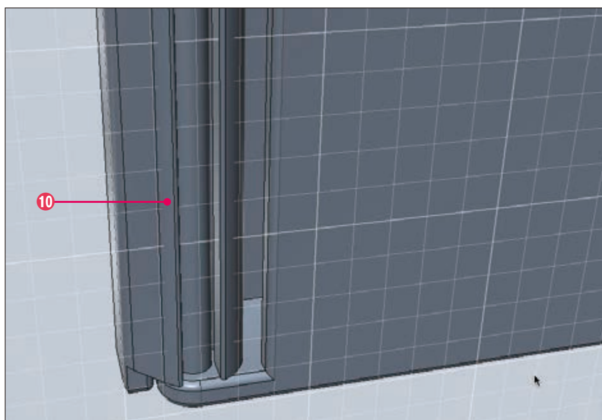

## 步骤 7

恢复显示底盒❾。可以看到名片盒的上下组合效果。



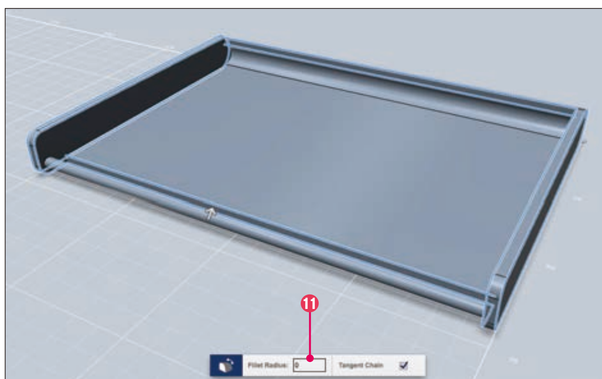
## 步骤 8

底盒的转轴与盒盖圆筒的洞看起来结合得比较好⑩。



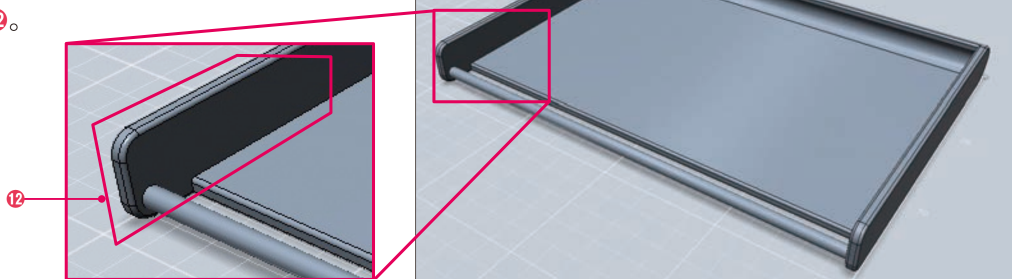

## 步骤 9

下面对底盒的各边做倒圆角处理。将盒盖隐藏（参见本书3.3.4-6的内容），选择[Modify]→[Fillet]，选中底盒所有的凸出边缘（图中蓝色的边），以R=0.5mm做倒圆角处理⑪。



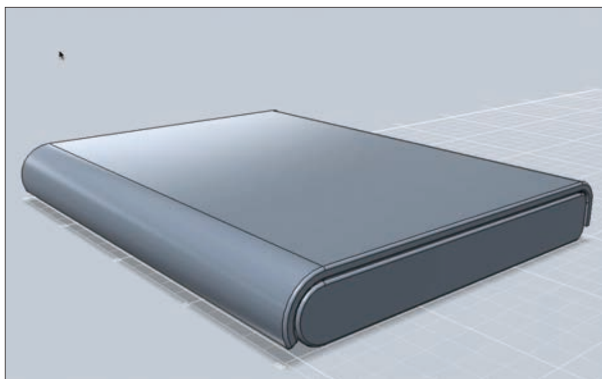

## 步骤 10

这样底盒的各边都得到了圆角效果⑫。




## 步骤 11

这样名片盒就完成了。取消盒盖的隐藏，从指令菜单点击[显示/隐藏]→[Show Solids]就会显示出整体效果来。

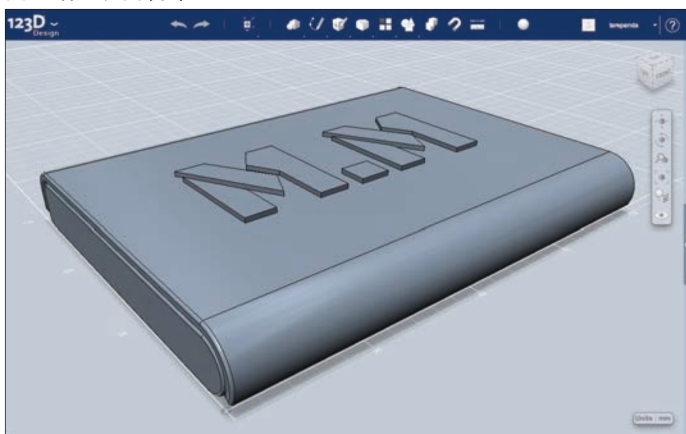


第5章

# 5.3【应用】增加表面装饰

在上一节中我们完成了名片盒的建模，下面再来做些小加工。如下图所示，我们在名片盒的顶面增加雕花效果的文字。像这样能够自由定制的特点也正是 3D 打印的优势所在。这里指定的是笔者名字的首字母“M.M”，读者们也可以试着加上自己的幸运字母。

图 增加表面装饰



这种文字数据的草图虽然也可以使用 [Sketch] 指令绘制，但本节将介绍使用网页版 123D Design 中的文字数据进行绘制的方法。

进行这个操作前需要先在网页版的 123D Design 中做好相应的数据，我们就从这个阶段开始介绍。

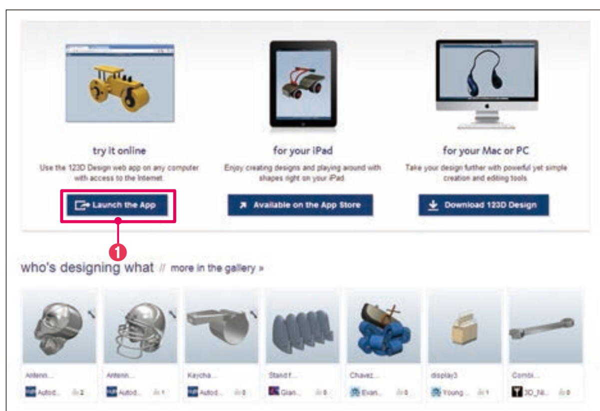
## 5.3.1 使用网页版软件制作文字数据的方法

在 Windows 版及 Mac 版的 123D Design 中没有用于建模文字形状的专项功能，但网页版的 123D Design 中提供了这个功能。所以在制作文字实体时使用网页版的这个功能更便于操作。

## 步骤 1

访问 Autodesk 123D Design 的网页，下拉页面后点击位于页面右侧的 [Launch the App] 键❶。

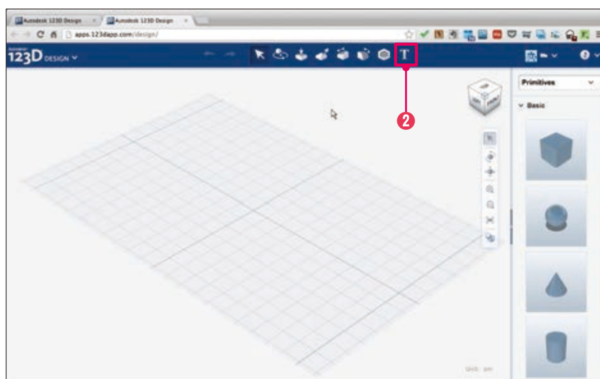
URL www.123dapp.com/design/




## 步骤 2

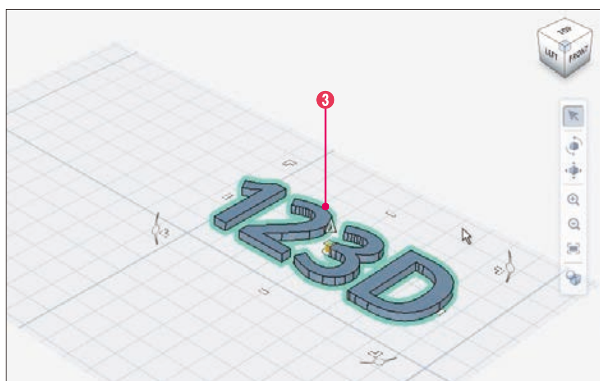
从浏览器启动网页版 123D Design。

点击上方深蓝色菜单里的 T 字图标❷，开启制作文字的功能。



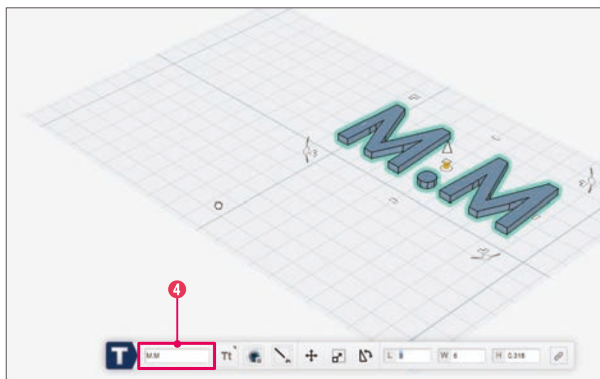

## 步骤 3

在画面内的任意位置显示文字❸。默认的文字内容为 123D，之后可以自己随意修改。通过移动画面上的箭头来调整文字的大小。




## 步骤 4

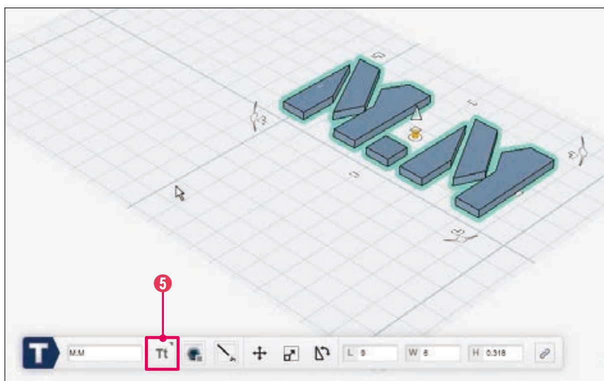
将文字扩大到合适的大小后修改文字的内容❹。这里输入的是“M.M”，大家也可以输入自己名字的首字母等内容。



**步骤 5**

网页版中备有多种字体，大家可以根据自己的喜好指定相应的字体❺。

将做好的文字保存在工程中。



## 5.3.2 配置云端上保存的数据

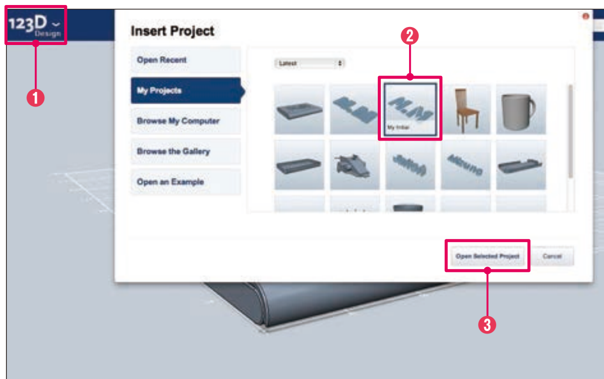
下面用 PC 机上安装的 123D Design 软件导入网页版中做好的文字，按照如下步骤操作。

**步骤 1**

点击 [Insert] 菜单→ [My Projects] ❶。

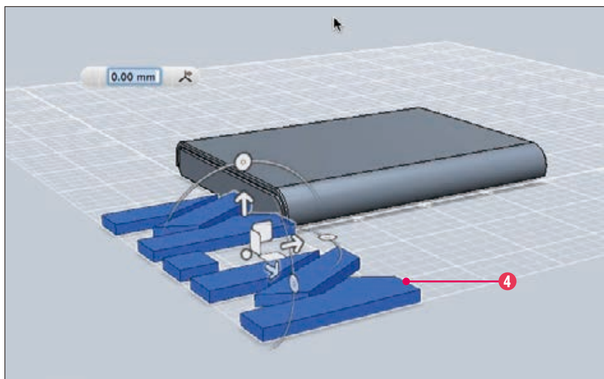
这时在画面中会列出自己工程页中保存的模型。选择左上方的首字母数据❷。

点击 [Open Selected Project] 键❸就会将其插入到现有的模型中。




**步骤 2**

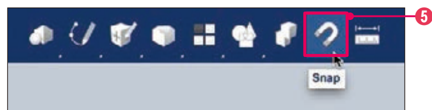
这样就可以将数据导入到自己正在构建的模型中了❹。由于其大小和朝向可以之后再修改，所以暂且将其放在易于操作的位置。

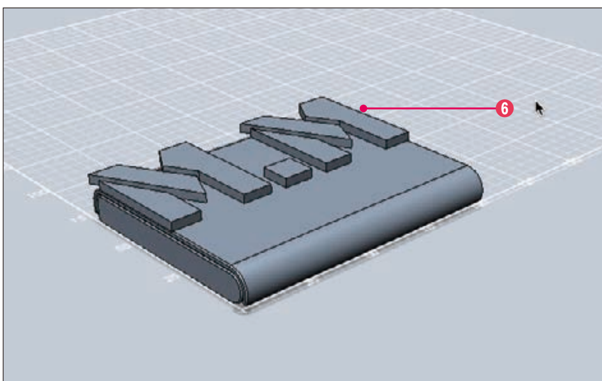


## 步骤 3

选择 [Snap] 指令❺，将插入的文字贴在名片盒的顶面上❻。

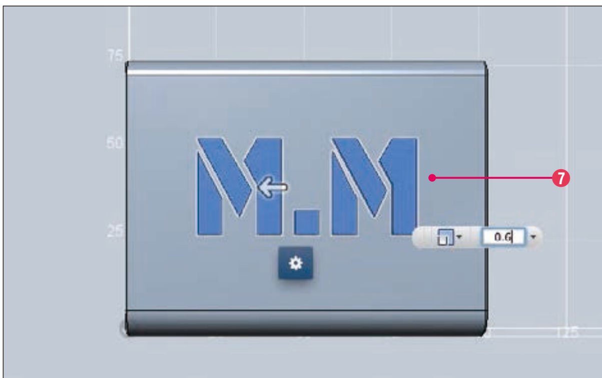
贴好后再选择 [Grouping] → [Ungroup] 解除组合状态，以便单独编辑文字部分。



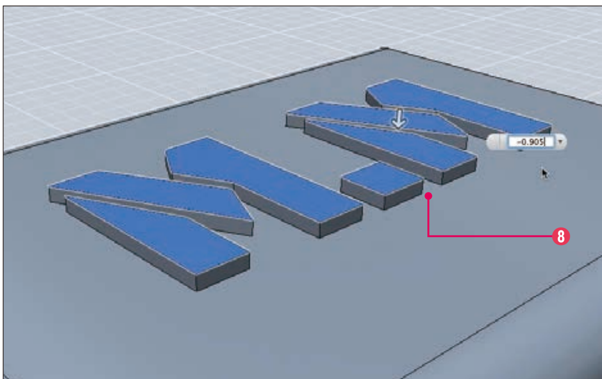

## 步骤 4

选择 [Transform] → [Move] 调整文字部分的水平位置或选择 [Transform] → [Scale] 调整文字大小❼。



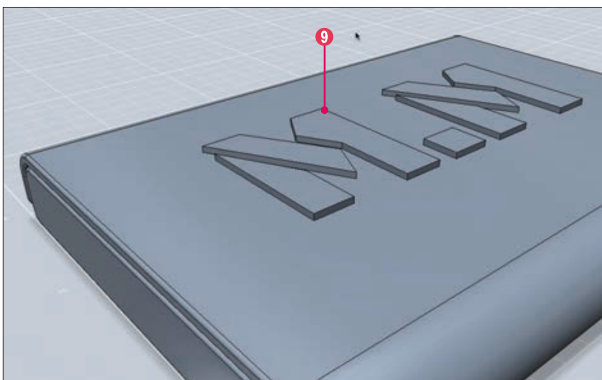

## 步骤 5

选 择 [Modify] → [Press Pull]， 将文字直推 1mm 的高度❽。




## 步骤 6

这样文字装饰就完成了❾。



专栏



## 制作由多个零件构成的物品

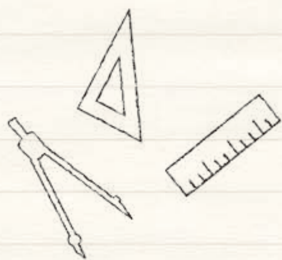
我们日常生活的很多物品都是由多个零件组合构成的，在使用 CAD 制作多个零件时有一些需要注意的事项。

第一，一定注意这些零件不能重叠（即不同零件不能占据同一空间）。这种重叠在物理上是不成立的，如果直接制造出来可能无法组合在一起。所以需要在建模阶段确认各零件相互结合的部位是否设计合理。123D Design 没有提供干涉检查的功能，所以只能通过目测来确认，但一定要确保有这个确认过程。而在专业 CAD 中提供了干涉检查的功能，所以可以实现这个过程的半自动化作业。

第二，对于本书中介绍的名片盒的建模，除了闭合的状态外，还需要确认打开的状态及开闭过程中的状态中是否发生了零件的干涉，关于这个过程，这次是通过改变盒盖的角度来进行确认的。如果不做这些确认，可能会造成制造好的名片盒无法打开或无法关闭。

第三，还需要注意本章中曾提到的间隙问题。虽然在 CAD 软件中两个零件之间没有间隙、紧密接触是行得通的，但实际的制造不可能完全严格地按照尺寸数据生产出成品。对于一些仅允许误差在几微米程度的精密零件制造来说，可以由专门的技术人员进行调整加工，而使用 3D 打印机制造中能保证的就只有机器设备的相应误差了（专业设备大概在 0.1mm 的程度）。所以必须要在建模阶段就设置一定程度的间隙。

当然，对于爱好者来说，在初学建模的阶段，试错的过程本身也是乐趣之一。3D 建模和 3D 打印的优势在于可以无需成本或者在成本压力非常小的情况下开展产品制造。刚开始的时候虽然有很多需要考虑的问题，但也无需过于担忧，可以大胆地进行各种尝试，这样的心态会让你在享受建模的同时轻松积累各个操作阶段的实战经验。



# 第6章

## 实战 产品制造的3D建模之二——制作靠背椅、卡通形象

本章中我们继续通过两个实例来学习用于产品制造的3D建模。本章将要制作的是成品体积比较大的靠背椅和具有丰富曲面的卡通形象这两个产品。

使用3D CAD可以设计正常尺寸、能够实际使用的靠背椅等家具。另外，虽然制作丰富的曲面效果是3D CG的专长，但如果稍加用心，使用3D CAD也能在一定程度上实现类似的效果。

第6章

# 6.1 制作靠背椅

前面的章节中以常见的小件物品为中心介绍了相应的建模过程，但 123D Design 不仅可以建模小件物品，也可以建模桌子、椅子这样的家具。下面我们就来建模一把下图中这种很常见的木制靠背椅。

图 靠背椅的建模



## 6.1.1 探讨建模方法

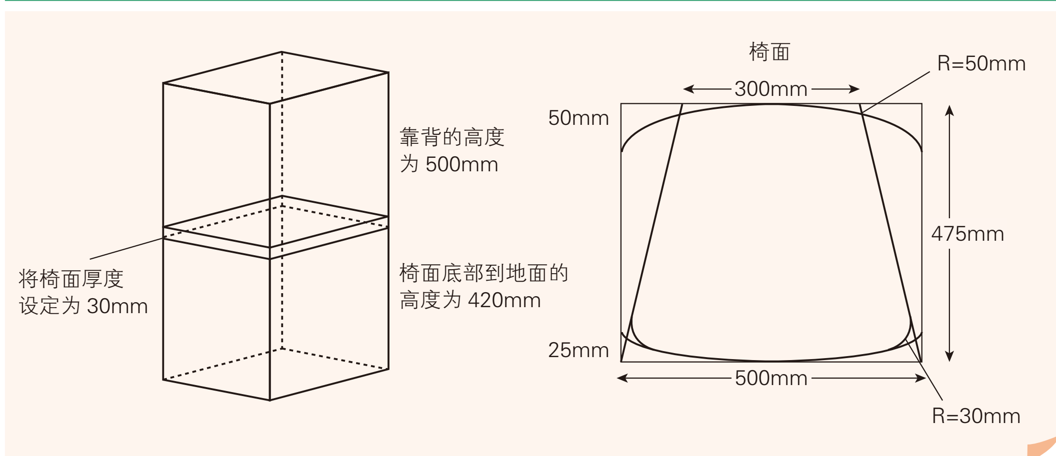
在开始建模之前，需要先讨论以下几点。这里假设要做的靠背椅为成人使用的规格。

- 椅子腿的长度
- 椅背的高度
- 椅面的大小

首先，需要决定椅子腿的长度（从椅面到地面的高度）。如果椅子腿过短则坐下后大腿无法平放在椅面上，而椅子腿过长则身材比较矮小的人坐上去就要踮着脚。通常这个尺寸在 45cm 左右比较合适，按照这个思路我们设计了如下图所示的尺寸。不过为自己专用的椅子设计特定的高度或设计小孩的椅子也是非常有意思的事情。

此外，还必须要考虑椅面的设计。如果椅面的面积不够，坐上去就会不舒服甚至整把椅子都无法使用，所以需要按照稍大于成人臀部的尺寸来设计。这里我们按照如下的参考尺寸制作靠背椅，如果您有兴趣也可以实际测量一下自己平时坐的椅子。

图 本次建模的靠背椅的大小（左图）和椅面的规格（右图）




确定好基本尺寸后就开始实际建模吧。先来建模椅面。

> 提示
> 通常在实际制作家具时，需要根据素材的特点考虑靠背和椅子腿的承重来进行相应的强度设计，本书中的介绍并不包括这一部分的考量。

## 6.1.2 建模椅面部分

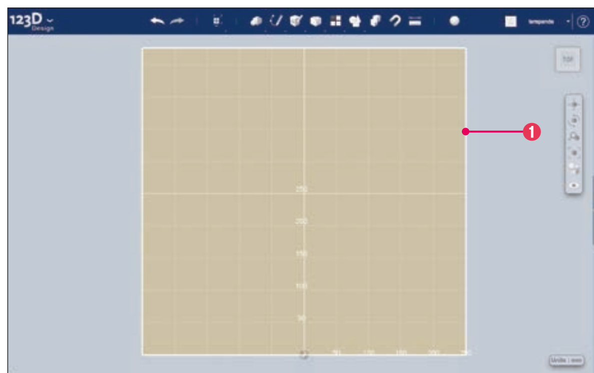
下面开始椅面部分的建模。基本思路是先做一个薄板状的立方体，然后再进行适当切割。

但是使用 123D Design 的设计过程比较自由，可以先做出最终形状所必需的形状草图，然后在各阶段选取所需形状进行加工。因此，如果把草图画得过于精细，会给后期造成不必要的麻烦，而充分利用草图的重点部分则可以大幅提高建模的效率。

我们按照这种思路来试着建模。这里设计了一个长方体的板，考虑到之后的处理，也特意预留了部分空间。

## 步骤 1

选择 [Sketch] → [Rectangle]，绘制长 500mm × 宽 475mm 的长方形草图❶。这是椅面的大体框架。



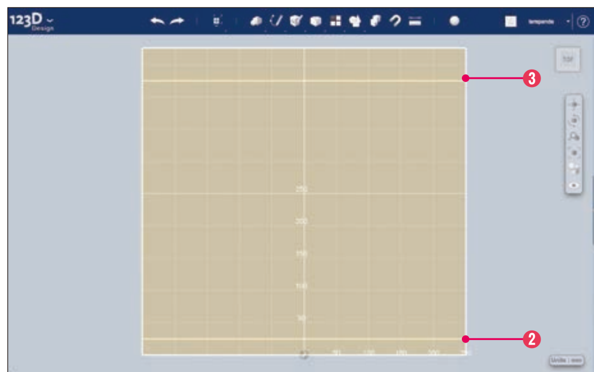

> 提示
>
> 对于本次这种已经确定了成品尺寸的情况，如果将建模区域（绘图区域）标尺的单位设为 1mm 或 5mm，会更便于调整形状的大小。

## 步骤 2

靠背椅椅面的前面和后面都需要削圆，所以先绘制相应的基准线草图。

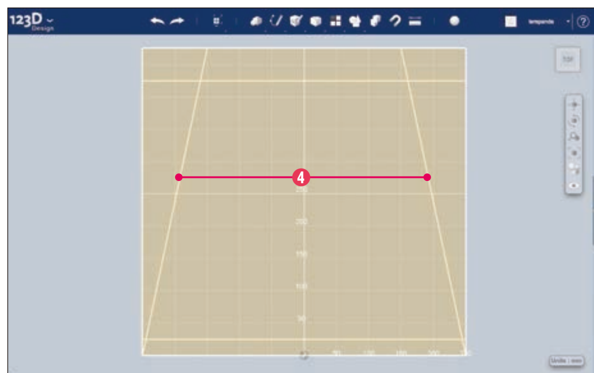
选择 [Sketch] → [Polyline]，在下方 25mm 处❷及上方 50mm 处画出线的草图❸。

此后的步骤 2~7 都将参考之前的草图。在追加草图的时候将光标放在已有的线上，确认显示 [Click to edit sketch] 后选择相应的草图面。




## 步骤 3

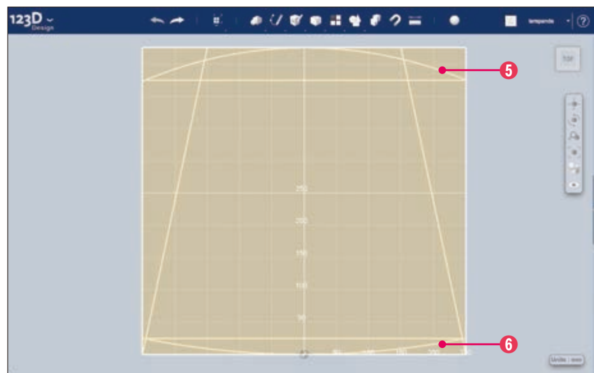
把椅面切削成前宽后窄的形状。用 [Polyline] 画出两条斜向切削两个侧面的线❹，使椅面最后边的宽度为 300mm。




## 步骤 4

最后绘制切削椅面前后的弧线草图。

选择 [Sketch] → [Three Point Arc]，如图所示绘制两条圆弧的草图❺❻。将直线的两端指定为圆弧的起点和终点，并将长方形上下边的中点指定为圆弧中间点后即可画出如图所示的圆弧草图。



## 步骤 5

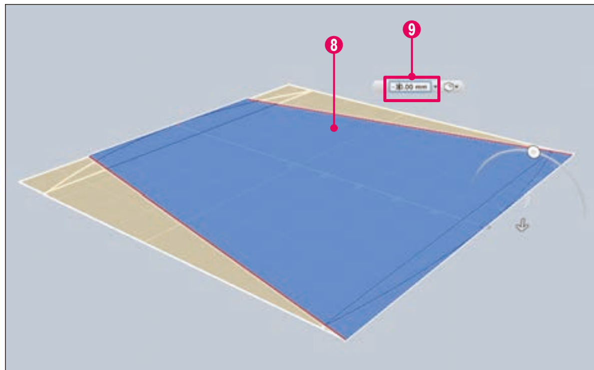
下面准备开始制作立体形状，点击右上方的 View Cube ❼，切换到便于操作的斜向视角。




## 步骤 6

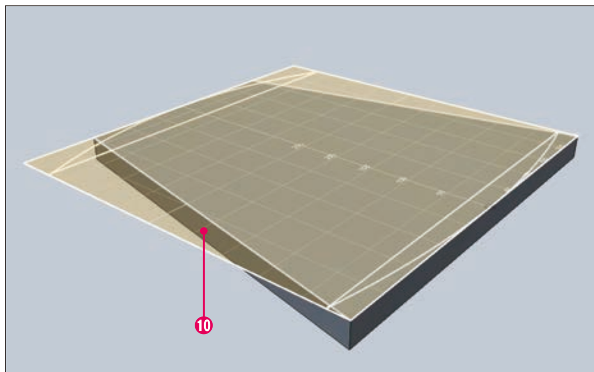
先将图中蓝色的梯形部分直推 30mm。

选择 [Construct] → [Extrude] 后点击梯形部分❽，在弹出的对话框中输入 –30mm ❾。



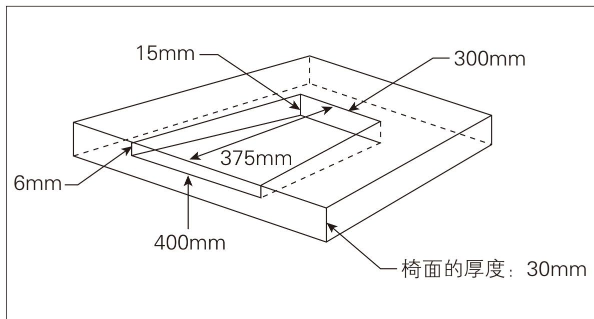

## 步骤 7

这样就完成了椅面的基础形状❿。




## 步骤 8

下面制作椅面的凹陷部分。凹陷部分的尺寸如图所示。

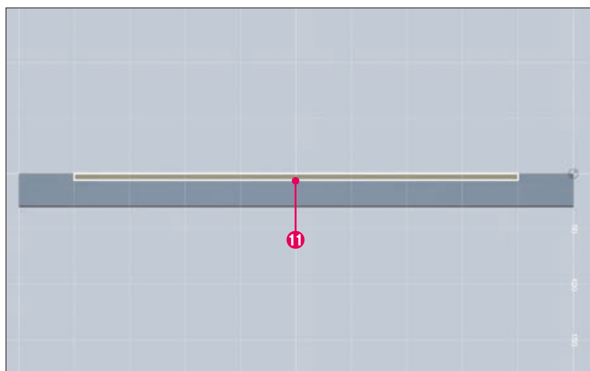


## 步骤 9

使用 [Loft] 指令来制作凹陷部分的豁口。

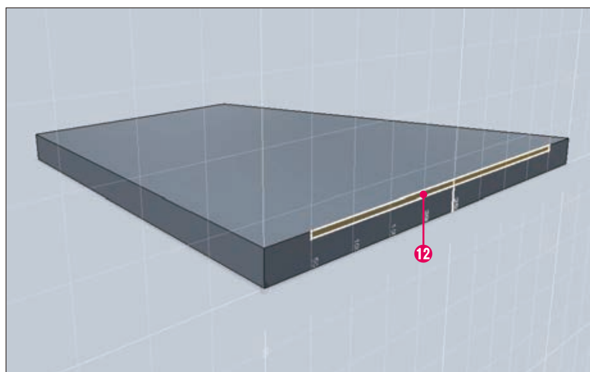
先点击 View Cube 的 FRONT，将视角切换为正面显示。

之后选择 [Sketch] → [Polyline]，以上侧边的中心为基准画一个高 6mm × 宽 400mm 的长方形草图⓫。




## 步骤 10

如图所示，切换回斜向视角后可以看到豁口的草图⓬。



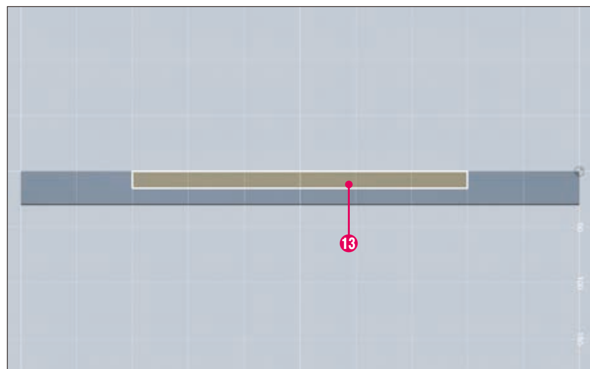

## 步骤 11

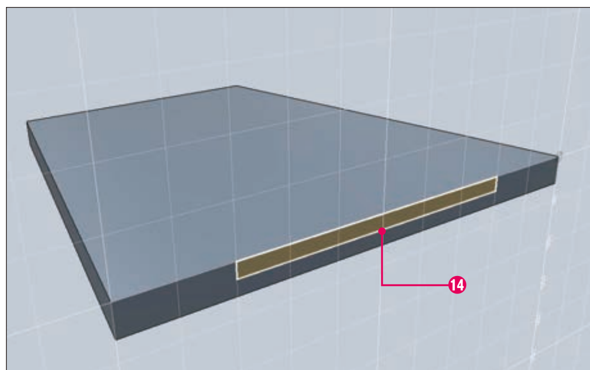
按同样的步骤制作另外一个豁口的草图。

这个豁口要比之前的深一些。

以上侧边的中心为基准画出高 15mm × 宽 300mm 的长方形草图⓭⓮。

> 提示
>
> 在绘制这个草图时为便于操作，可以将步骤 9 绘制的长方形草图隐藏（参见本书 3.3.4–6 的内容）。

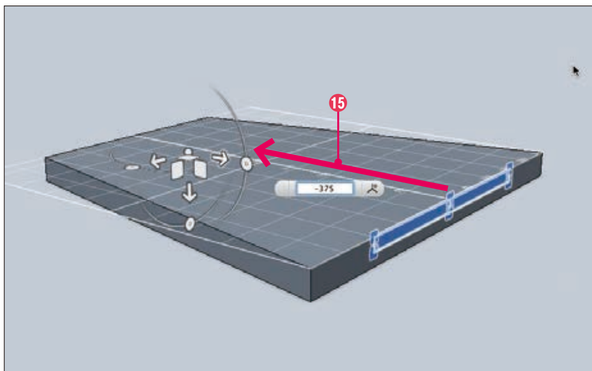


## 步骤 12

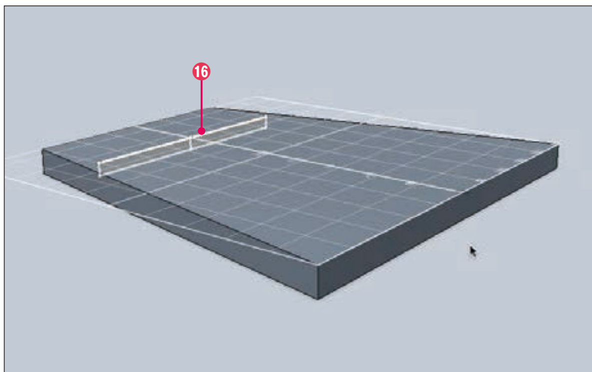
将步骤 11 中制作的豁口草图移动至相应位置。

选择 [Transform] → [Move]，将长方形的草图向后方的窄端移动 375mm ⑮。




## 步骤 13

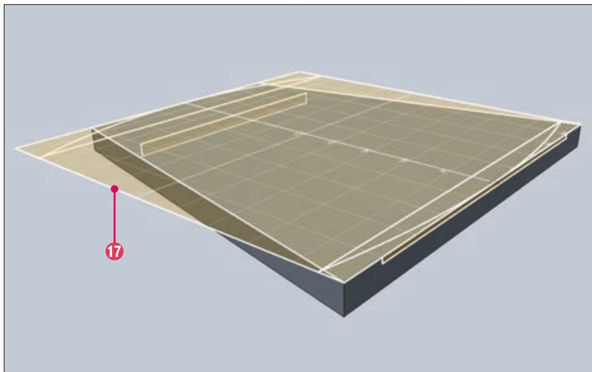
正常执行后豁口草图就被移动至如右图所示的位置上了⑯。




## 步骤 14

使用这个草图来建模凹陷部分。

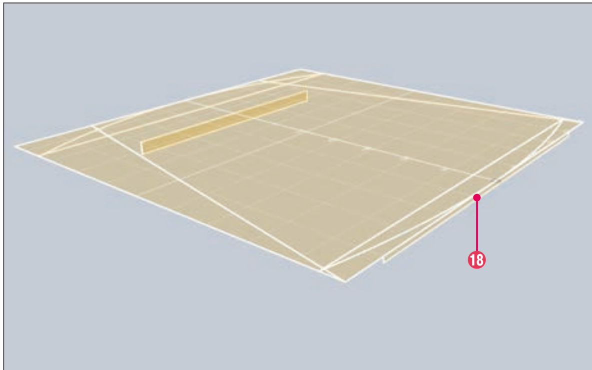
先选择 [ 显示 / 隐藏 ] → [Show Sketches]，恢复显示被隐藏的草图⑰。




## 步骤 15

由于后部的切口截面隐藏在实体之中，无法使用 [Loft] 选中这个截面，所以在这里暂时隐藏椅面的梯形实体⑱。

需要隐藏实体时，可以在没有选择任何指令的状况下点击实体，从显示的图标中选择 [Hide]。

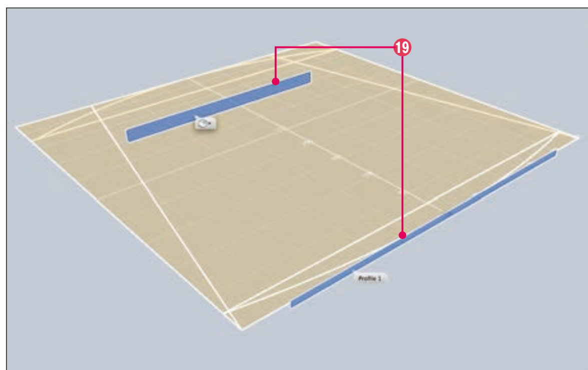


## 步骤 16

选择 [Construct] → [Loft]，点击两个长方形草图⑲。

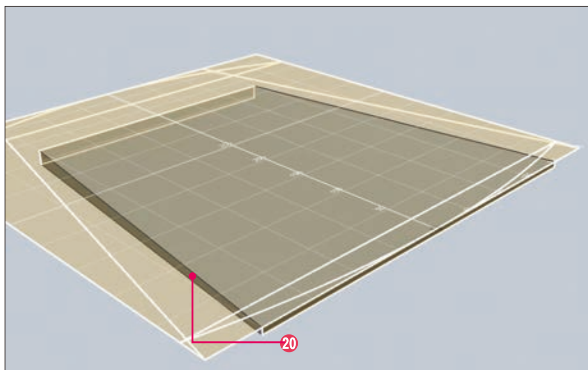
**警告！**

此处的图由于截图效果的原因看不到实体的轮廓，实际上是显示实体轮廓的。




## 步骤 17

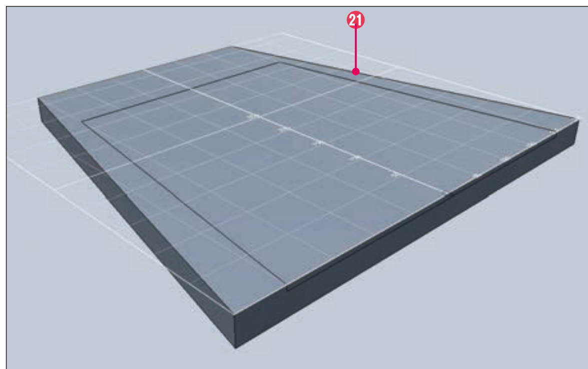
按回车键 ( Mac 为 Return 键 ) 执行指令，即做出了凹陷部分的立体形状⑳。




## 步骤 18

前一步中使用的两个长方形草图已经不再需要了，所以选择 [ 显示 / 隐藏 ] → [Hide Sketches] 将它们隐藏。

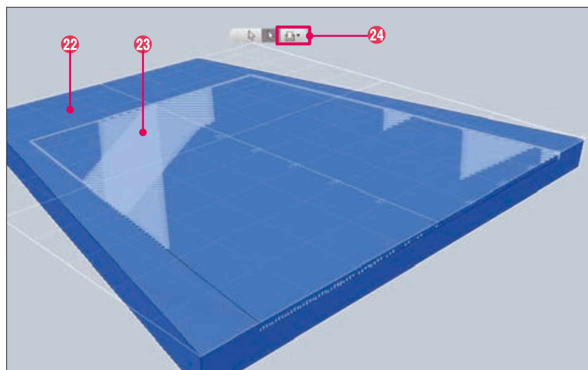
之后选择 [ 显示 / 隐藏 ] → [Show Solids] 恢复显示椅面实体。如图所示，椅面和凹陷部分这两个实体处于重合的状态㉑。




## 步骤 19

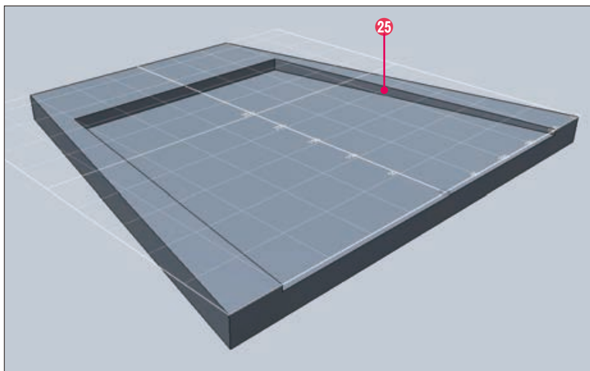
接下来就要从椅面削去凹陷部分。

选择 [Combine] 指令，按照椅面㉒→凹陷部分㉓的顺序点击实体。从画面上弹出的下拉菜单中选择 [Subtract] ㉔，按回车键 ( Mac 为 Return 键 ) 执行指令。



### 步骤 20

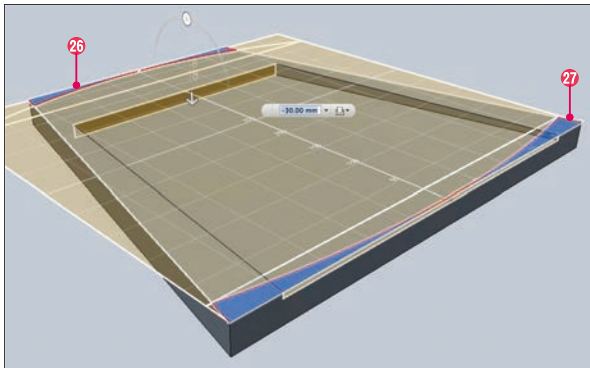
这样就制作出了椅面的凹陷效果㉕。




### 步骤 21

下面制作椅面前面和后面的圆弧形状。

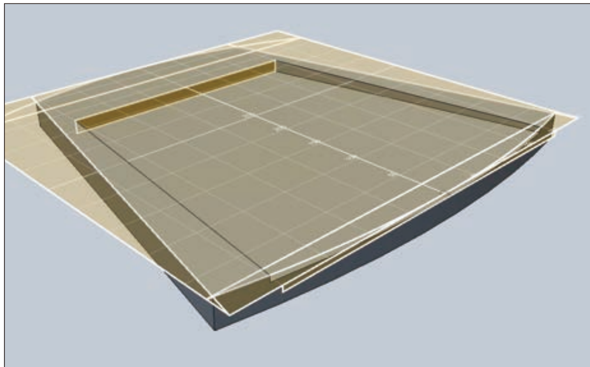
选择 [ 显示 / 隐藏 ] → [Show Sketches] 使草图恢复显示，选择 [Construct] → [Extrude] 后点击圆弧外侧的部分 ( 图中两处蓝色部分 )，向下方直推进行切削 ( Cut ) ㉖㉗。




### 步骤 22

按回车键 ( Mac 为 Return ) 执行指令。

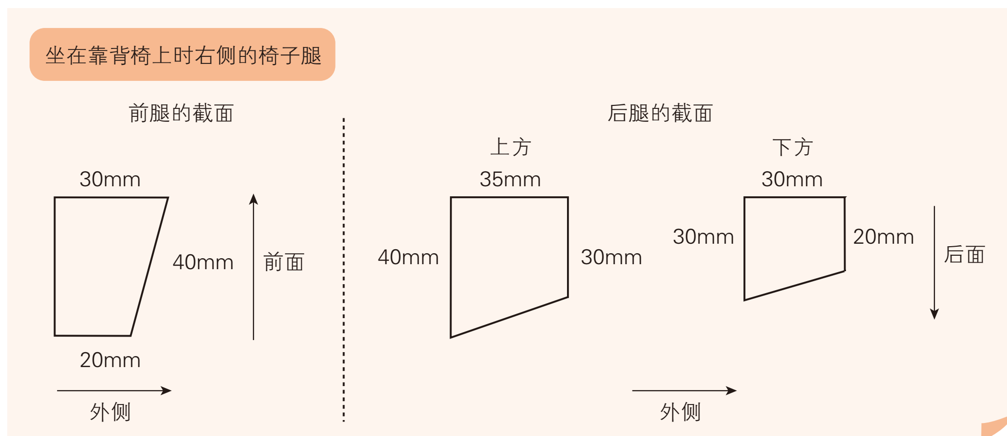
这样椅面就基本完成了。虽然边角的倒圆角处理还没有做，但我们将这些处理留在最后，先将现有的椅面保存起来。



## 6.1.3 建模椅子腿

下面进行椅子腿的建模。虽然前腿和后腿有些区别，但左右是对称的，可以进行复制处理。前腿和后腿的截面如下图所示。椅子腿的形状比较简单，可以直接用截面直推出来。

图 ■ 前腿、后腿的截面图

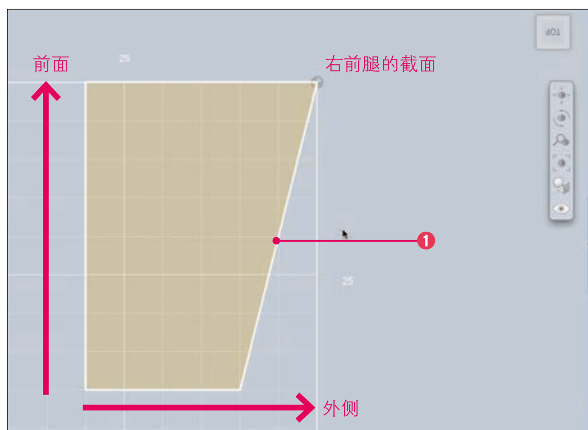



## 步骤 1

先制作前面的椅子腿。

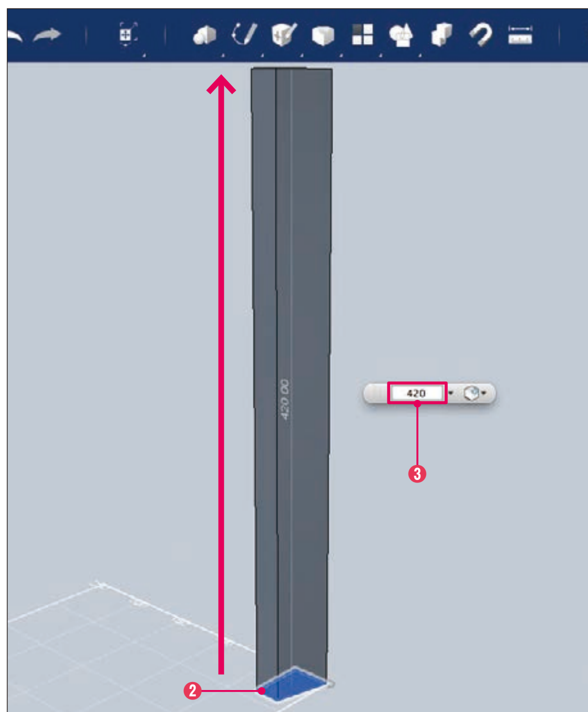
选择 [New] 菜单新建文件后继续下面的操作。

选择 [Sketch] → [Polyline]，绘制前面为 30mm、后面为 20mm、内侧垂边为 40mm 的直角梯形❶（如图所示）。




## 步骤 2

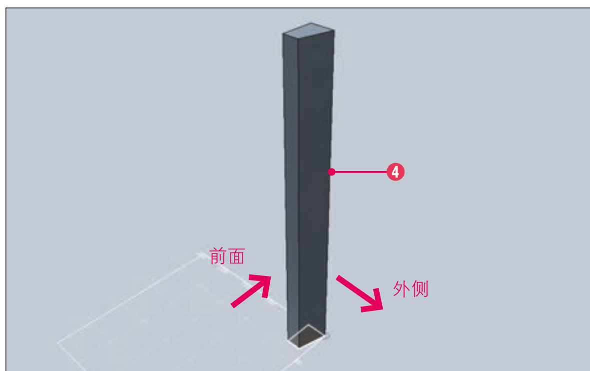
选择 [Construct] → [Extrude]，选中草图❷，在弹出的对话框中输入 420mm ❸。



## 步骤 3

如图所示，这样直推草图就做出了前腿❹。

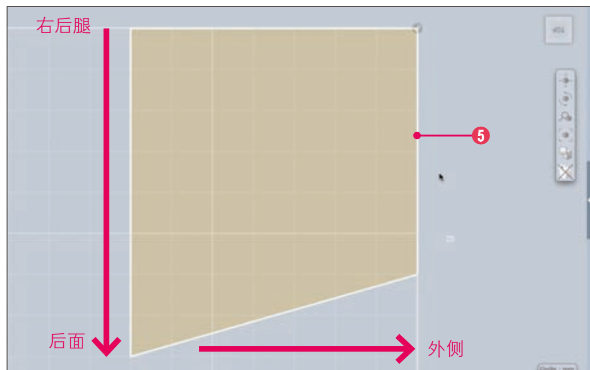
做好立体形状后将文件以任意名称命名并保存（这里取名为 FrontLeg_Right）。




## 步骤 4

下面建模后面的椅子腿。后腿从椅面附近到地面处逐渐变细。

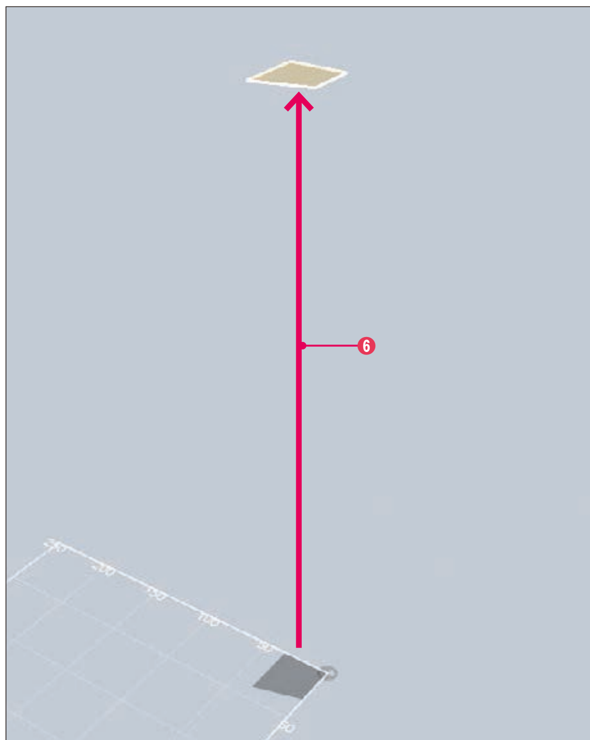
选择 [New] 菜单新建文件。选择 [Sketch] → [Polyline]，先绘制前面为 35mm、内侧侧边为 40mm、外侧为 30mm 的梯形❺。




## 步骤 5

选择 [Transform] → [Move]，将这个椅面一侧的截面垂直向上方移动 420mm ❻。

> 提示
>
> 进行这项操作时将视角切换为右图的斜向视角比较便于操作。在实际操作时需要根据情况随时切换易于操作的视角。

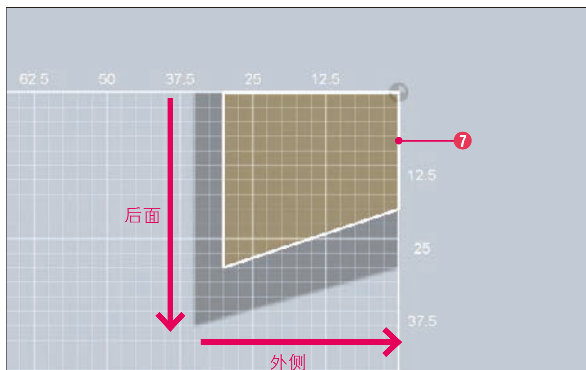


## 步骤 6

下面绘制地面一侧的截面草图。

选择 [Sketch] → [Polyline]，绘制前面为 30mm、内侧侧边为 30mm、外侧侧边为 20mm 的梯形草图❼。

> 提示 图中灰色部分为椅面侧截面的阴影。

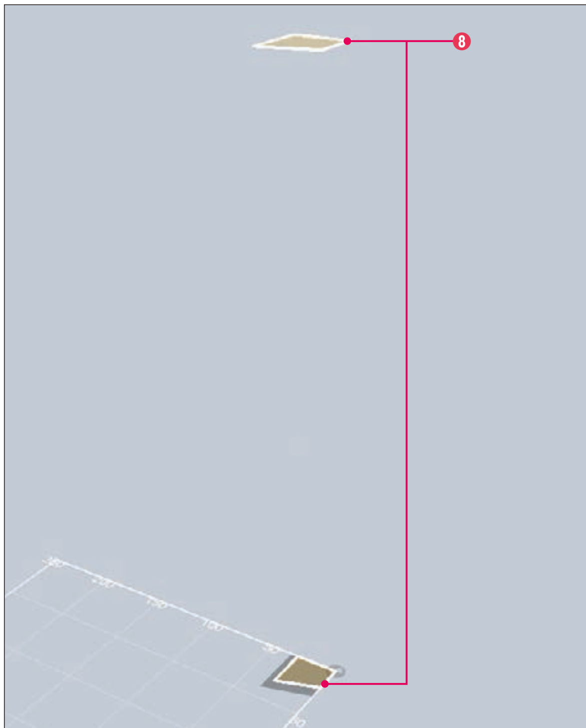



## 步骤 7

下面在这两个截面之间做出立体形状。

选择 [Construct] → [Loft]，点击上下两个截面❽。

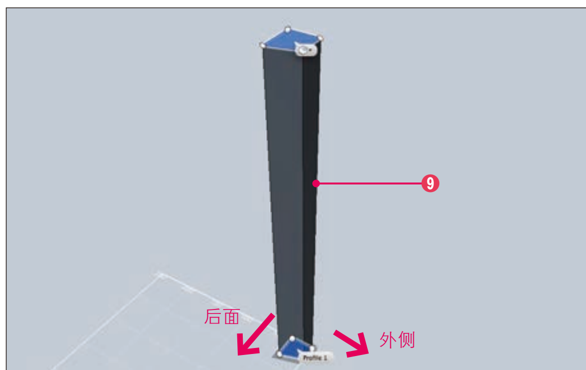
在显示为 Profile1、Profile2 的上下两个被选中面之间制作实体的轮廓，确认实体轮廓的效果正确无误后按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。




## 步骤 8

如图所示完成后腿的制作后❾，将其以任意文件名保存（这里取名为 BackLeg_Right）。

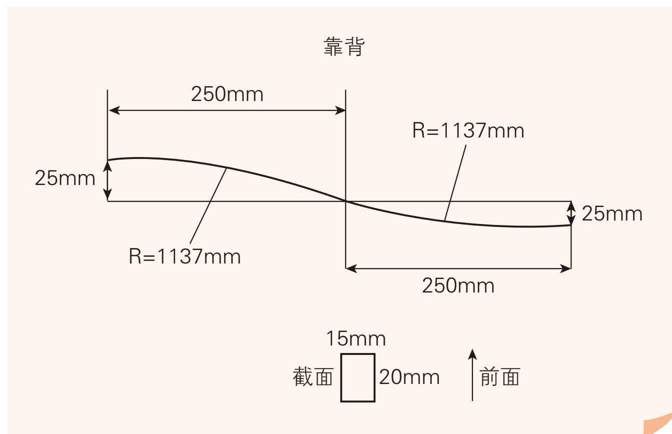
这样就完成了椅面和椅子腿的组件，也就是说完成了实现椅子基本功能的组件。



## 6.1.4 建模靠背

下面进行靠背的建模。组成靠背的条形如下图所示。由两个大的圆弧组成，我们按照这个轨道制作截面为 15mm × 20mm 的条形。

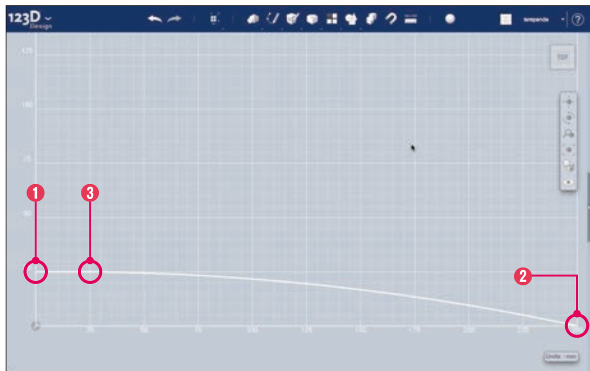
图 ■ 靠背的形状




### 步骤 1

先绘制左侧圆弧的草图。

选择 [New] 菜单新建文件。由于横向长度为 250mm，所以将视角拉远（如图所示将每一格设定为 5mm 则更便于操作）。选择 [Sketch] → [Three Point Arc]，点击起点（0,25）❶、终点（250,0）❷、中间点（25,25）❸的位置。




提示

虽然在草图中无法显示圆弧的半径，但使用 [Measure] 指令测量后可知半径尺寸约为 1 137mm。

## 步骤 2

下面绘制另外一半圆弧。

这里点击与前一半圆弧终点位置相同的（250,0）❹作为起点，再点击（500,–25）❺为终点、（475,–25）❻为中间点。呈将之前的圆弧转动 180 度后所得的形状。

## 步骤 3

通过上述两个步骤绘制出如图所示的圆弧。

## 步骤 4

下面制作将要扫过这个轨道的截面。

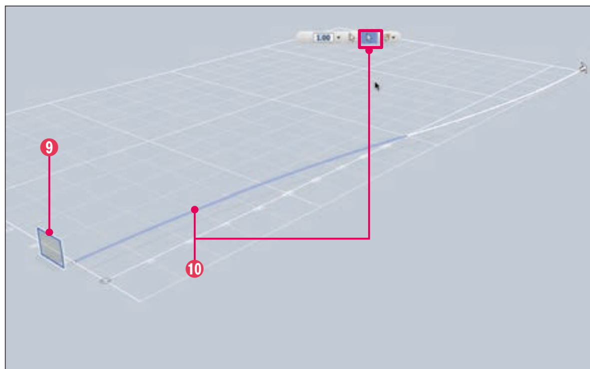
选择 [Sketch] → [Rectangle]，画出宽 15mm × 高 20mm 的长方形草图❼。

## 步骤 5

选择 [Transform] → [Move]，将制作好的长方形旋转 90 度，如图所示，使其与移动方向相垂直❽。

## 步骤 6

选择 [Construct] → [Sweep] 后，先选择长方形（用于扫轨的截面）❾，然后在弹出的选项中选择右侧的箭头（Path），最后选择两个圆弧（轨道）❿。

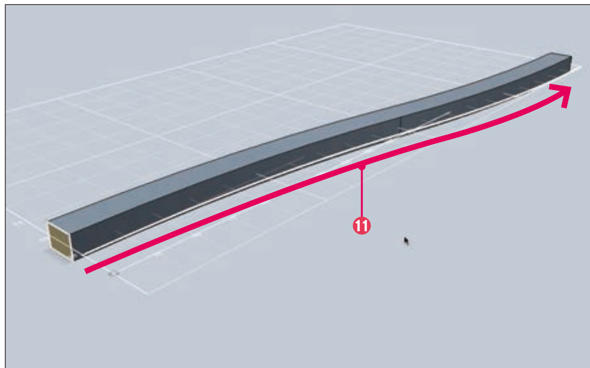


## 步骤 7

箭头与轨道方向吻合，所以直接将其拉至终点⓫。

这样就完成了靠背的组成零件。将这个模型命名为 Chair_Back 并保存。

> 提示
> 在弹出的对话框中输入 1.0 则也会得到相同的结果。

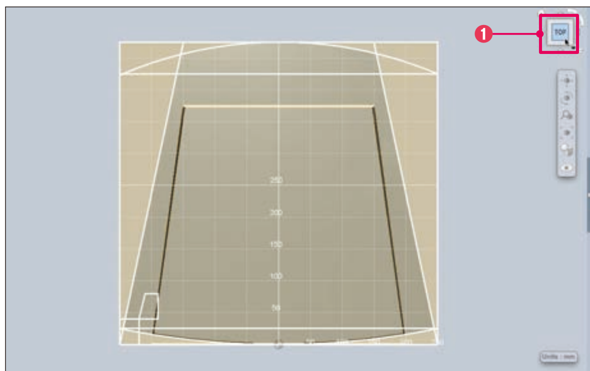


### 6.1.5 靠背椅的组装（椅子腿）

下面来组装靠背椅。在实际组装时还需要制作用于各组件相互嵌入的孔及螺丝等，但这里我们简化这些过程，仅进行简单的位置组合。

## 步骤 1

打开椅面的文件，以 TOP 视角显示❶。

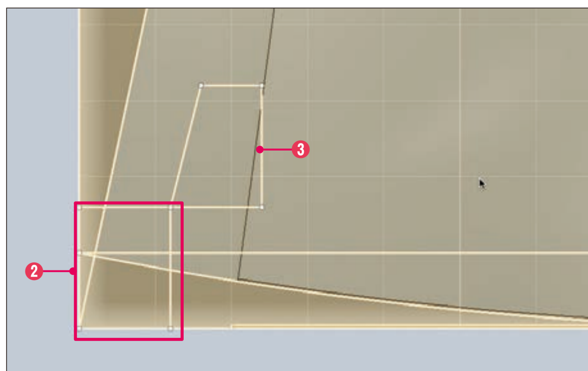


## 步骤 2

首先，确定前腿的位置。

以制作椅面草图时使用的长方形左下角为基准，绘制宽 30mm × 高 40mm 的长方形草图❷。

然后以该长方形的右上角为起点，绘制前腿的截面草图❸（前腿的截面形状参见本书 6.1.3 的截面图）。

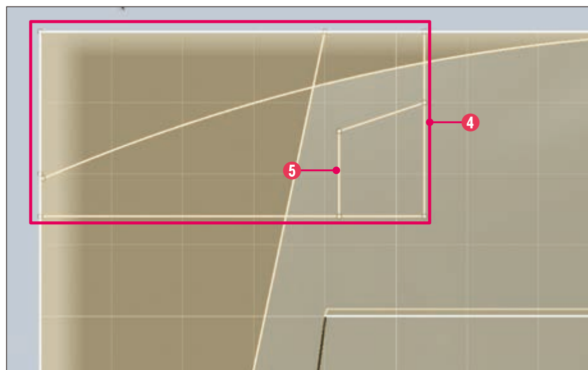



## 步骤 3

用相同的方法确定后腿的位置。

以制作椅面草图时使用的长方形左上角为基准，绘制宽 135mm × 高 35mm 的长方形草图❹。

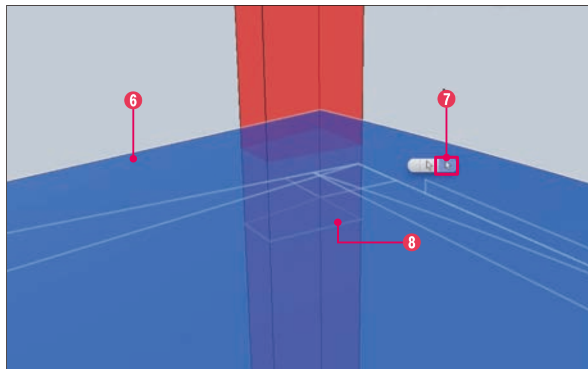
然后以该长方形右下角为起点绘制后腿上端的截面草图❺（后腿上端的截面形状参见本书 6.1.3 的截面图）。




## 步骤 4

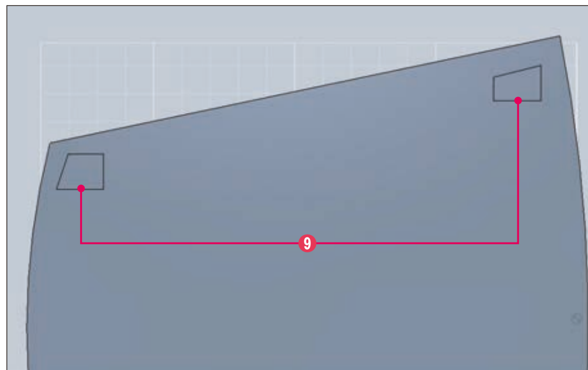
下面切分椅面上椅子腿的截面部分。

选择 [Modify] → [Split Face]，将椅面的底面选为被切分面❻，点击选项菜单中的右侧箭头（Splitting Tool）后❼，选择椅子腿的轮廓草图❽。这样面就被切分了。按照同样的方法分别切分前后共 4 条椅子腿的位置。




## 步骤 5

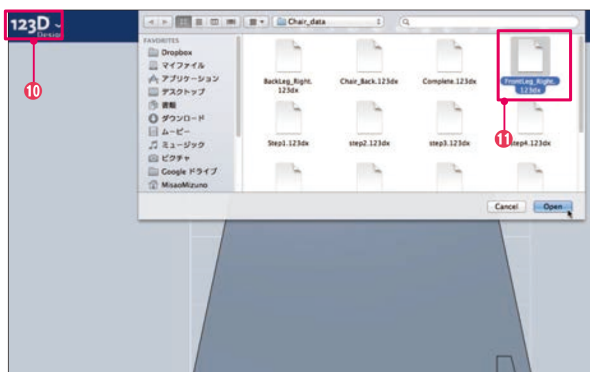
右图为从椅面正下方视角看到的、已经完成切分的椅面底面（草图隐藏的状态）。可以看出该底面已经被切分了❾。这样将面切分好以后，就可以轻松使用 [Snap] 指令将椅子腿放置在正确的位置上。



## 步骤 6

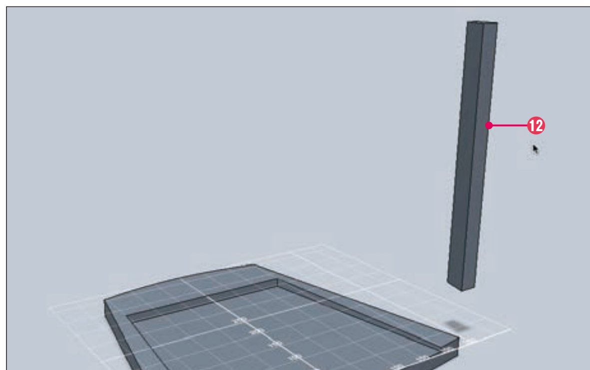
下面组装前腿。

选择 [Insert] 菜单⑩，从 [Browse My Computer] 导入之前保存的右前腿的文件⑪。



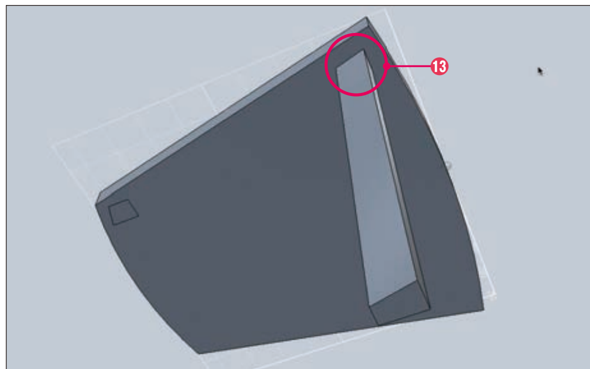
## 步骤 7

将导入的前腿粘贴在椅面上。从工具栏选择 [Snap]，先点击前腿的顶面⑫，再点击之前已经切分出来的前腿区域的面。



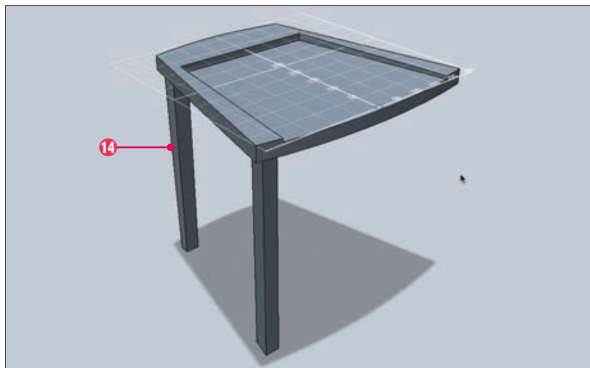
## 步骤 8

这样前腿就很好地贴合在切分面上了⑬。



## 步骤 9

用同样的方法导入后腿的文件，使用 [Snap] 指令如图进行粘贴⑭。



> **提示**
>
> 按照这里介绍的步骤操作，在正常情况下导入数据的朝向应该是正确的。但万一出现朝向错误的情况，请先调整好数据的朝向再执行 [Snap] 指令。

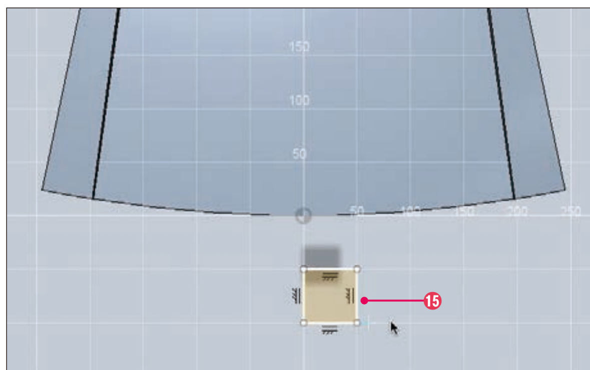
## 步骤 10

由于靠背椅的椅子腿是左右对称的，所以下面使用镜像功能制作左侧的椅子腿。

由于镜像功能需要一个对称面，但现有的模型中没有可以直接借用的面，所以需要为此制作一个虚设的实体。

这个实体的制作规格没有特别的要求，只要其中的一个面位于椅面的中央线上即可。

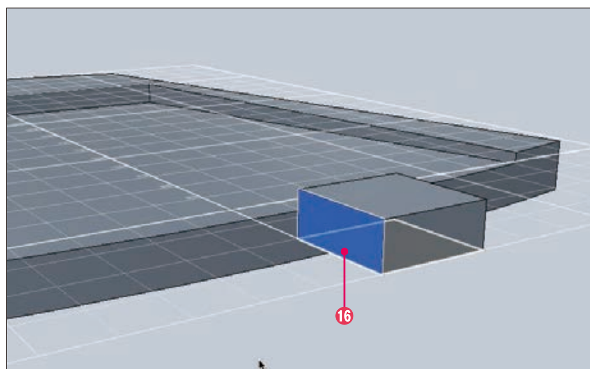
选择 [Sketch] → [Rectangle]，绘制有一条边与椅面中央线重合的正方形⑮。




## 步骤 11

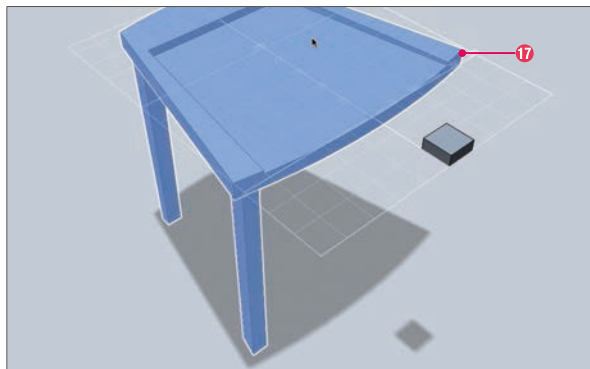
选择 [Construct] → [Extrude]，选中做好的正方形，制作如图所示的实体。

这里将使用图中的蓝色面作为对称面进行镜像处理⑯。



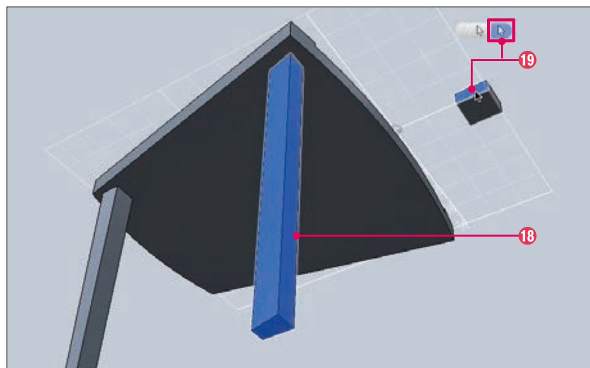

## 步骤 12

使用 [Snap] 粘贴在一起的实体会被自动组合，所里这里要先选择 [Grouping] → [Ungroup] 解除组合⑰，以便单独操作每个组件。




## 步骤 13

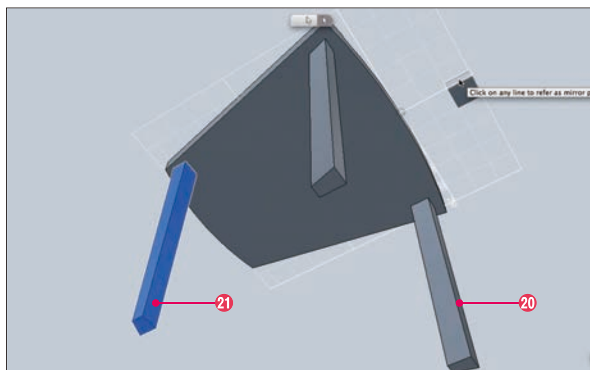
选择 [Pattern] → [Mirror]，先选择前腿（要复制的原本）⑱，然后在选项中点击右侧的箭头（Mirror Plane），最后再选择之前做好的实体侧面（对称面）⑲。



## 步骤 14

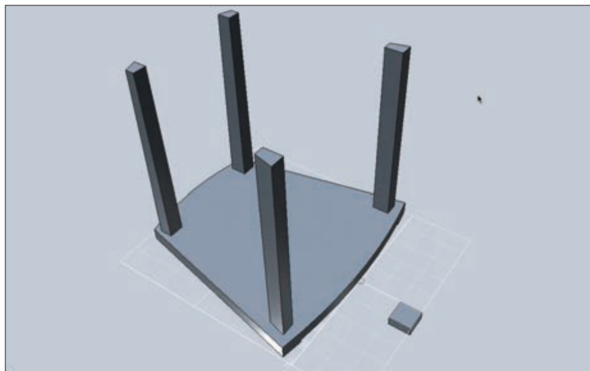
这样就做好了另一侧的前腿⑳。

对后腿也实行同样的操作㉑。




## 步骤 15

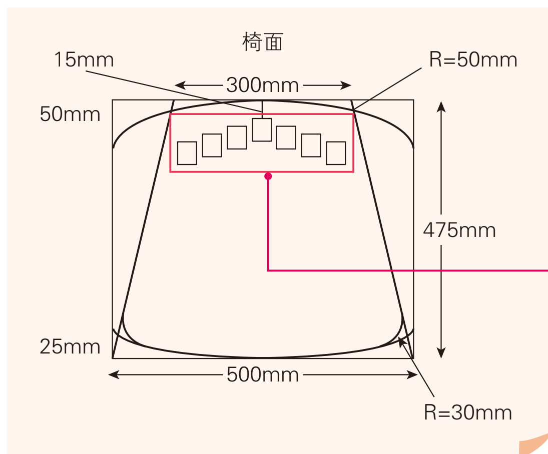
这样前后的椅子腿就都粘贴在椅面上了。如右图所示，为了使椅面和椅子腿不再分散，选择 [Groping] → [Group] 进行组合。



## 6.1.6 靠背椅的组装（靠背）

下面，复制多个已经完成建模的靠背条，按照如下方法制作靠背。

图 ▪▪ 靠背的设置



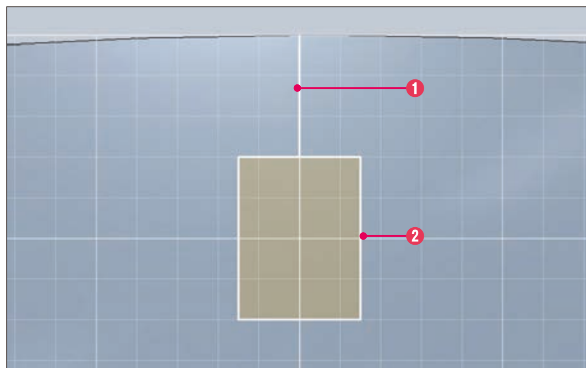
详细的方法将在之后分步介绍，概括起来大体的流程为：先使用与安装椅子腿相同的方法，用 [Split Face] 指令制作粘贴靠背条的截面区域；之后选择 [Insert] 菜单导入靠背条组件并用 [Snap] 指令粘贴靠背条；最后利用椅面后面的圆弧，用 [Circular Pattern] 指令向左右复制靠背条。

## 步骤 1

首先，在椅面中央靠背的位置绘制靠背条的截面草图。

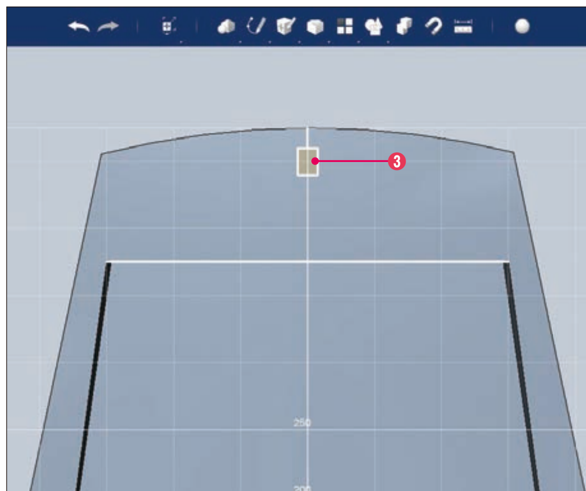
选择 [Sketch] → [Polyline]，从椅面后面圆弧的中心点开始，画一条 15mm 的直线作为辅助线❶。

然后选择 [Sketch] → [Rectangle]，如图所示画出与辅助线相接的长方形草图❷。



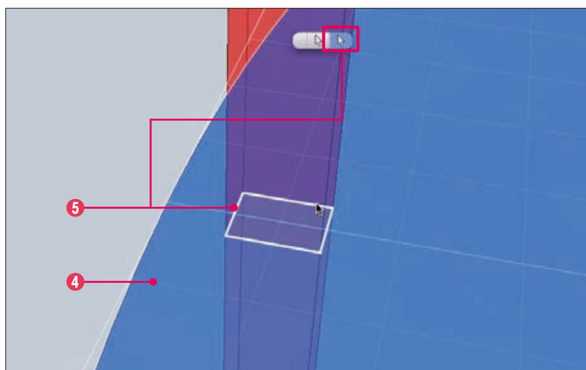

## 步骤 2

正确绘制后的效果如图所示❸。



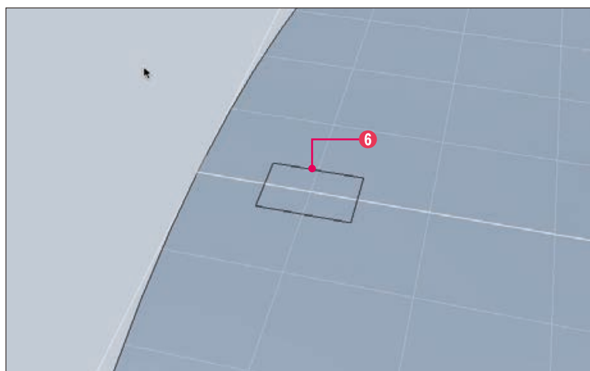

## 步骤 3

选择 [Modify] → [Split Face]，先点击椅面的上表面❹，在选项菜单中选择右侧箭头 ( Splitting Tool )，然后点击前一步制作好的长方形草图❺。



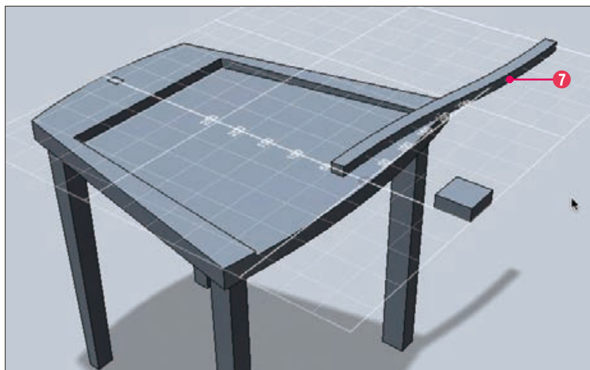
## 步骤 4

这样椅面就被切分了❻。靠背条就是要粘贴在这个切分出来的面上。



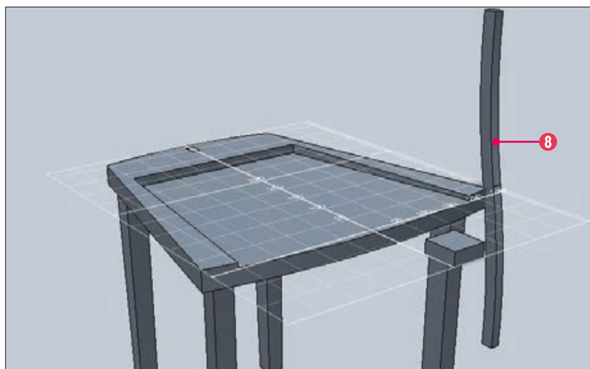

## 步骤 5

选择 [Insert] 菜单，导入靠背条数据❼。该数据导入后保持建模时的坐标和形态。



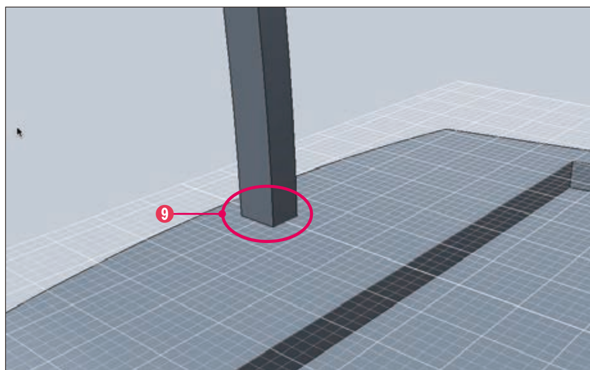

## 步骤 6

为便于组装，选择 [Transform] → [Move]，将其改变为实际椅背的朝向❽。



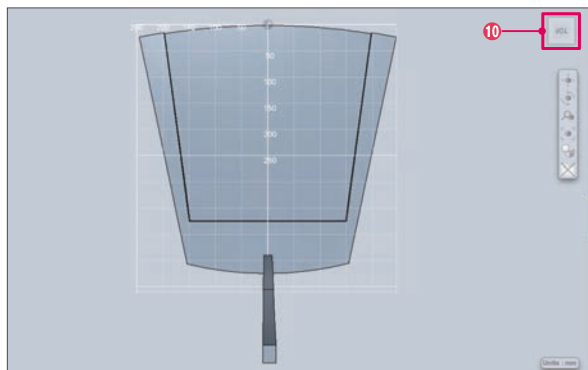

## 步骤 7

选择 [Snap]，先点击靠背条的底面，再点击之前切分出来的区域。这样靠背条即设置在了指定的位置上❾。



## 步骤 8

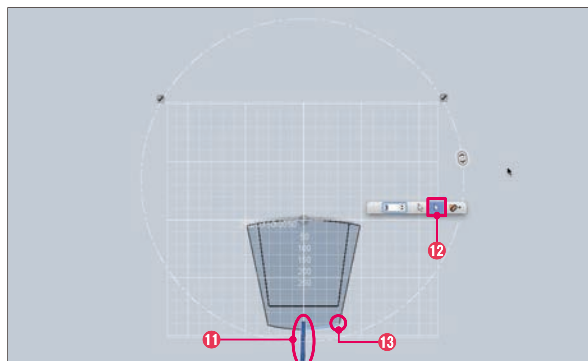
为了便于之后的操作，在右上方的 View Cube 中选择 TOP，切换至从正上方观察的视角⑩。



## 步骤 9

选择 [Pattern] → [Circular Pattern]，双击靠背条将其作为复制原本⑪。

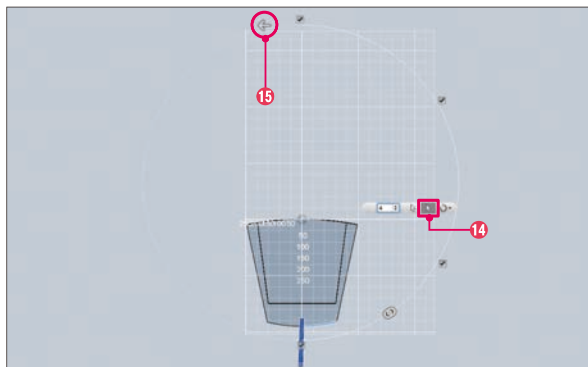
之后选择选项右侧的箭头 ( Axis ) ⑫，指定复制的轨道。这里将其指定为椅面后面的圆弧形边⑬。这样就可以开始设置 3 根靠背条。



## 步骤 10

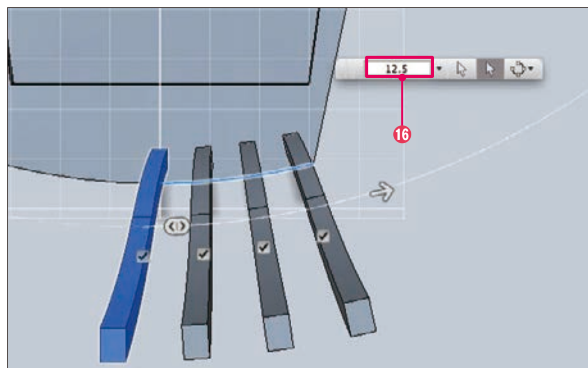
点击选项右侧的图标，切换至 [Angle]，在对话框中输入 4 ⑭。这样如图所示在 180 度的范围内可以设置 4 个实体。

点击圆形上的箭头，切换至可以在对话框中输入角度 ( Angle ) 的状态⑮。



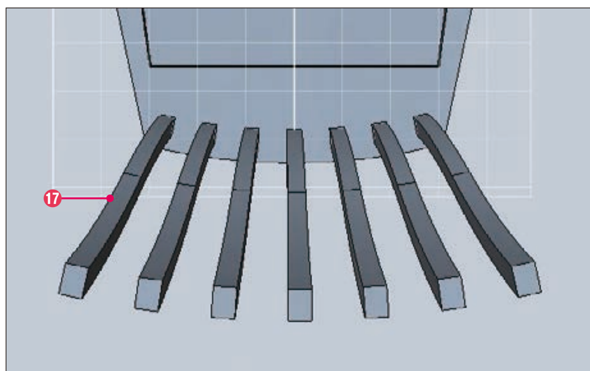
## 步骤 11

进入可以输入角度的状态后，输入 12.5° ⑯。如右图所示，这样就完成了靠背条的设置。



### 步骤 12

用同样的方法将靠背条向左侧复制⑰步骤与前面完全相同，将角度设为 –12.5° 。




### 步骤 13

这样就使用之前制作好的各组件组装出了一把靠背椅。

这时为了使各个组件不再散开，选择 [Grouping] → [Group]，组合已经完成的整体。



## 6.1.7 建模靠背的顶端横板

如上所述，已经将所有做好的组件组装完毕了，但是现在靠背的顶端还处于零散的状态，为了连接这些靠背条，还需要再制作一块圆弧形状的横板。

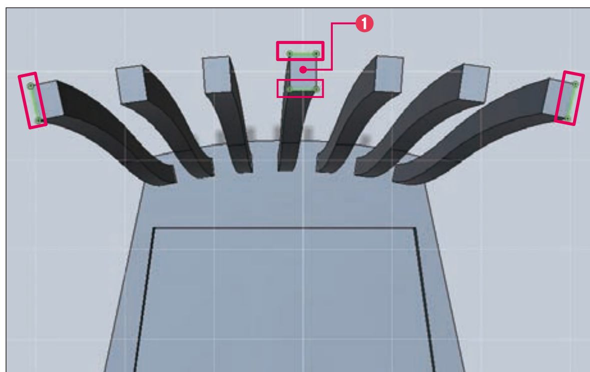
### 步骤 1

首先，绘制靠背顶端横板的截面草图。

为了便于操作，先在 View Cube 中选择 TOP，切换为正上方视角。

选择 [Sketch] → [Project]，先点击位于中央的靠背条的顶面❶，该面为将要使用的投影面。

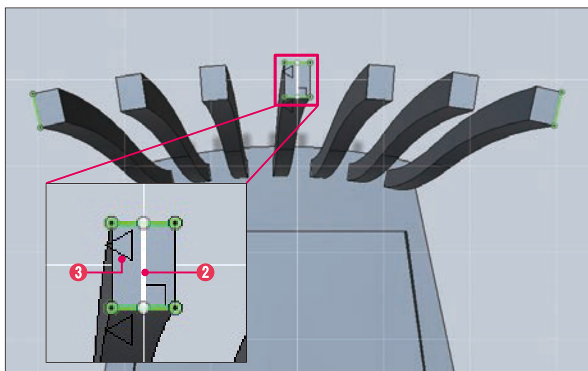
然后，点击用于之后操作的基准线，这里选择了右图中所示的 4 条边（图中 4 条绿色的线）。



## 步骤 2

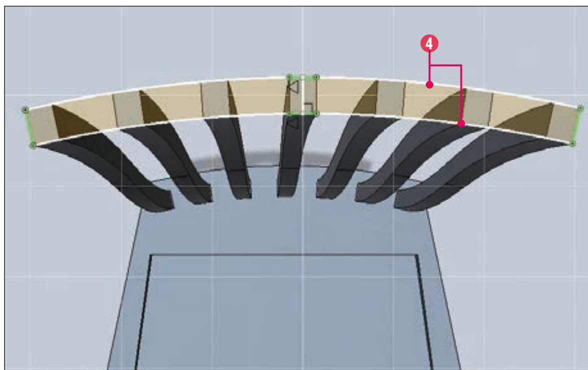
选择 [Sketch] → [Polyline]，在位于中央的靠背条的顶面画出一条纵向切分该顶面的线❷。

在画线时，点击中央靠背条的横向绿线，就会在中间点的位置出现右图中的三角形图标❸，从这个位置向下方的横向绿线画线即为中心线。



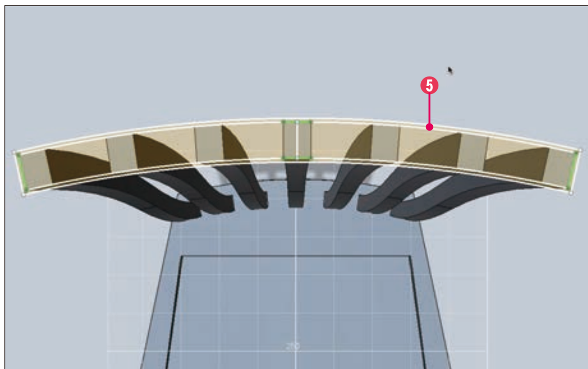

## 步骤 3

选择 [Sketch] → [Three Point Arc]，使用左右的点和中央的顶点画出如图所示的两条三点圆弧❹。点击的顺序为左端、右端、中心点。




## 步骤 4

选择 [Sketch] → [Offset]，如图所示，在比原来的线向外偏移的 2mm 处画线❺。



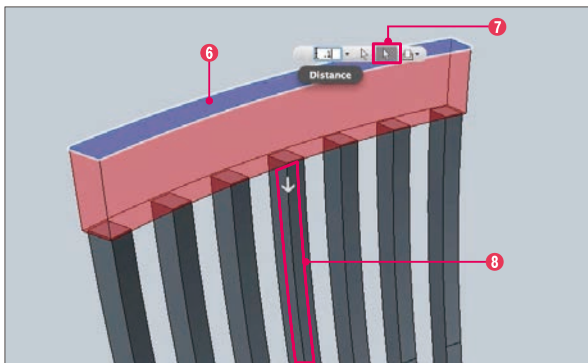

> 提示
>
> 在偏移操作后，可以删除原来的线的草图。删除该线可以便于选择相应的操作区域。

## 步骤 5

制作靠背顶端的横板。

选择 [Construct] → [Sweep]，点击步骤 4 做好的草图面❻。将该面作为基准面，然后指定轨道。在选项中选择右侧的箭头 ( Path ) ❼，点击位于中央的靠背条的边❽。

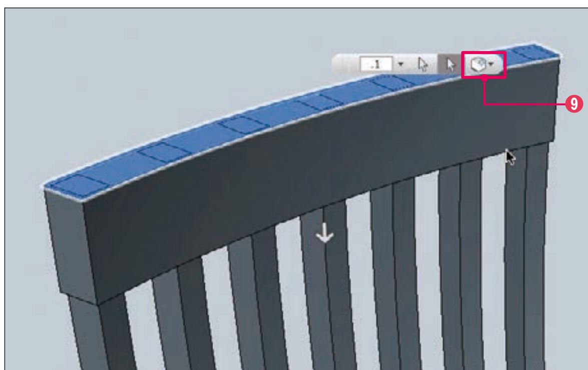
在对话框中输入 0.1 ( 与靠背全长的比例值 )。



## 步骤 6

由于 [Sweep] 指令默认为 [Cut]，所以需要再点击位于选项右侧的图标，将其变为 [New Solid] ❾。这样就不执行切削而是制作出新的与靠背呈重合状态的实体。

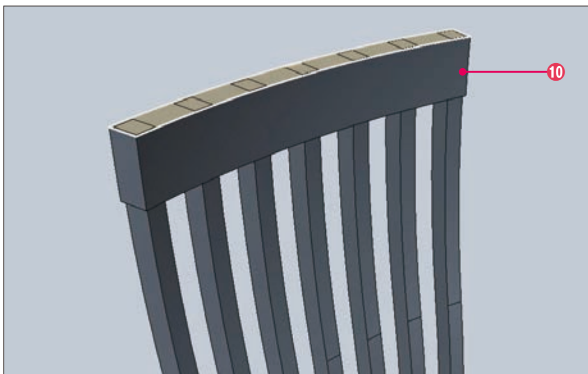
进入由图中的状态即可按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。




## 步骤 7

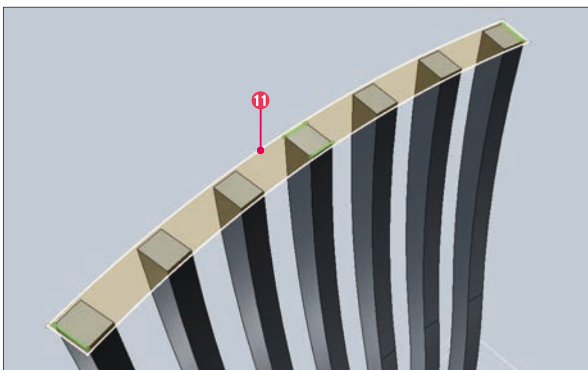
这样就做好了靠背顶端的横板❿。

但现在这个横板与靠背条还是重合的状态，所以还需要删除重合的部分。



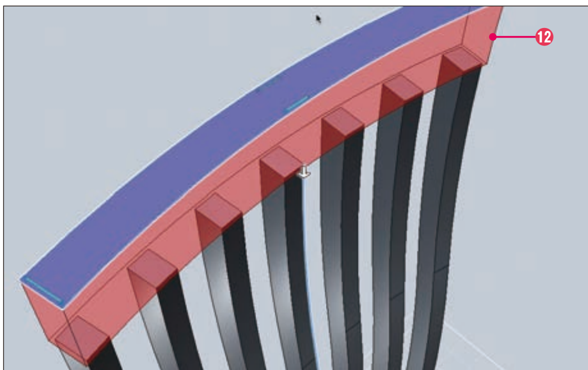

## 步骤 8

先将已经做好的横板暂时隐藏。在没有选择任何指令的状态下选择横板，从弹出的齿轮图标处点击眼睛图标（Hidden）⓫。



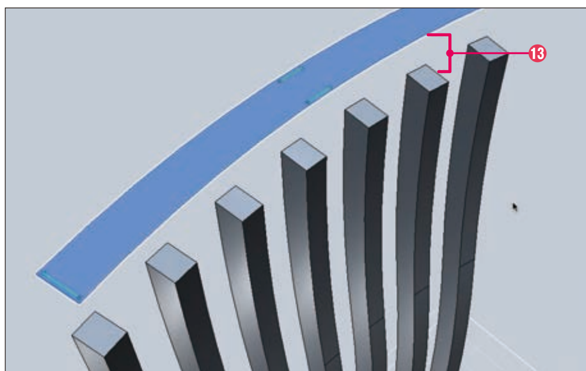

## 步骤 9

再按照步骤 5~ 步骤 7 的方法执行 [Sweep] 指令，但这次指定为 [Cut] 选项后执行⓬。



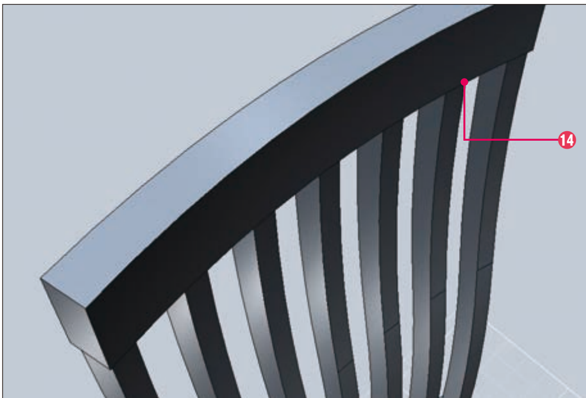
## 步骤 10

这样之前重合的部分就被删除掉了⑬。




## 步骤 11

选择 [ 显示 / 隐藏 ] → [Hide Sketches] 隐藏草图，再选择 [ 显示 / 隐藏 ] → [Show Solids] 恢复显示横板 ( 实体 )。显示效果如图所示⑭。




## 步骤 12

这样就完成了靠背椅的基础形状。完成这些操作后选中靠背和其他部分 ( 已经组合 )，选择 [Grouping] → [Group] 将整体组合在一起。



提示

由于之后还要分别处理椅面、椅子腿、靠背等组件，所以这里不对这些组件执行 [Combine] 指令。

## 6.1.8 靠背椅的后期处理

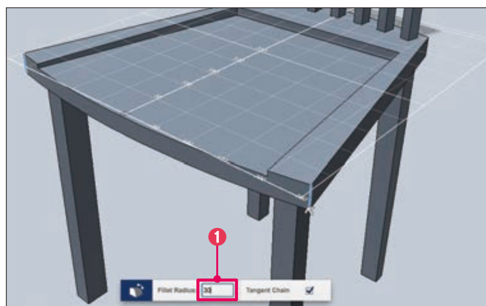
通过如上步骤已经完成了靠背椅的整体形状，在最后的后期处理阶段只需将各组件的边缘倒圆角即可。

这个处理都使用 [Modify] → [Fillet] 来执行，这里就不再逐一介绍了。基本的流程为：①先选择指令，②再选择需要倒圆角的边，③指定相应尺寸。这样就可以实现 R 角的弧度效果。

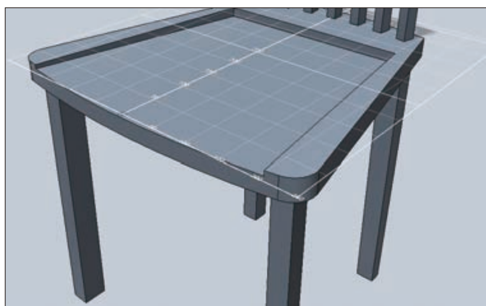
> **提示**
> 关于 [Fillet] 指令的使用方法可以参见本书 4.1.4 节的内容。

### 步骤 1

将椅面前面的角倒圆角 30mm ❶。

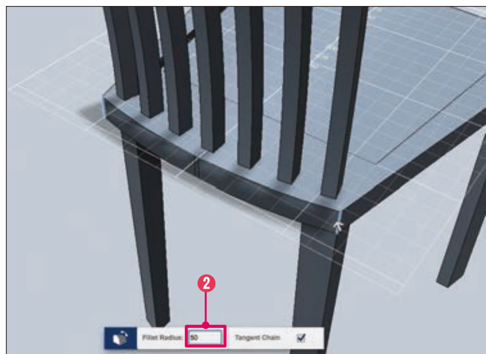




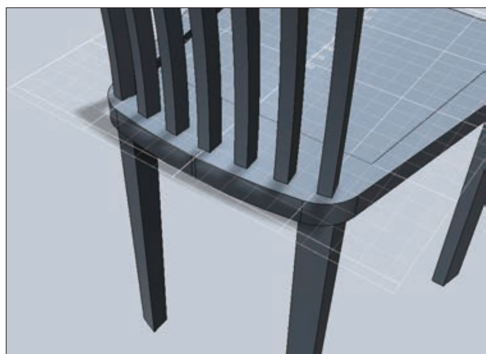


### 步骤 2

椅面后面的角倒圆角 50mm ❷。

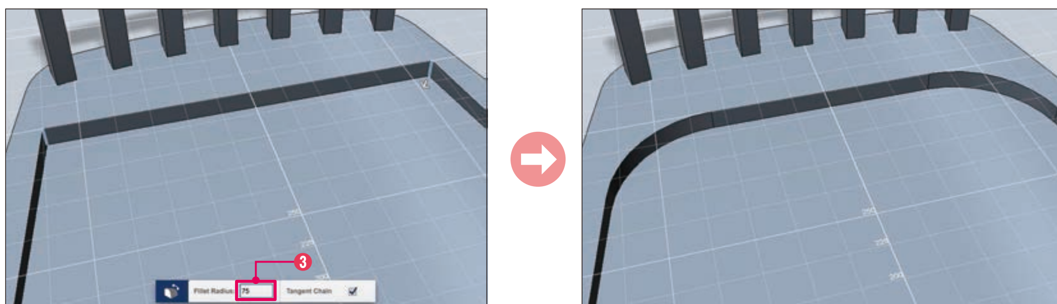






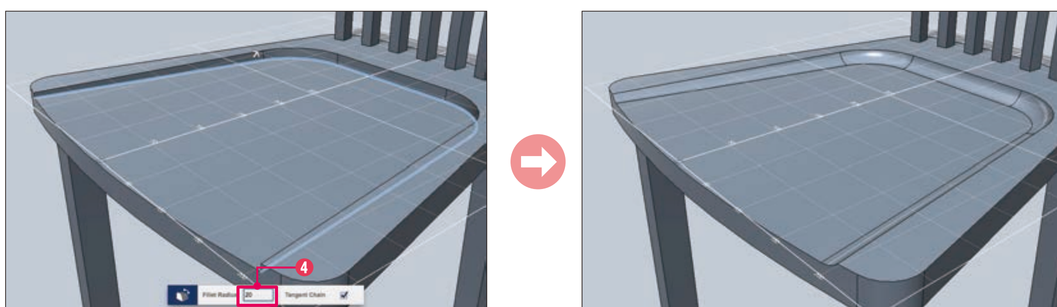
## 步骤 3

椅面凹陷部分的后方倒圆角 75mm ❸。



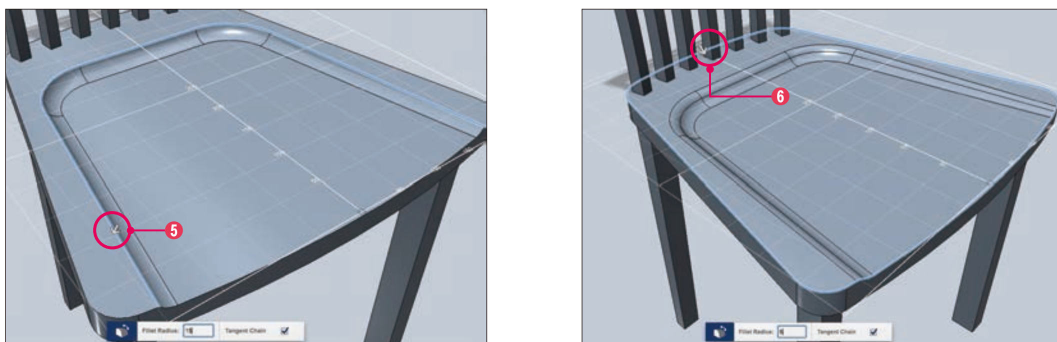

## 步骤 4

为使椅面凹陷部分更加顺滑，将凹陷部分的下方倒圆角 20mm ❹。




## 步骤 5

同样将凹陷部分上方的边倒圆角 15mm ❺，并将椅面外圈的边倒圆角 5mm ❻。

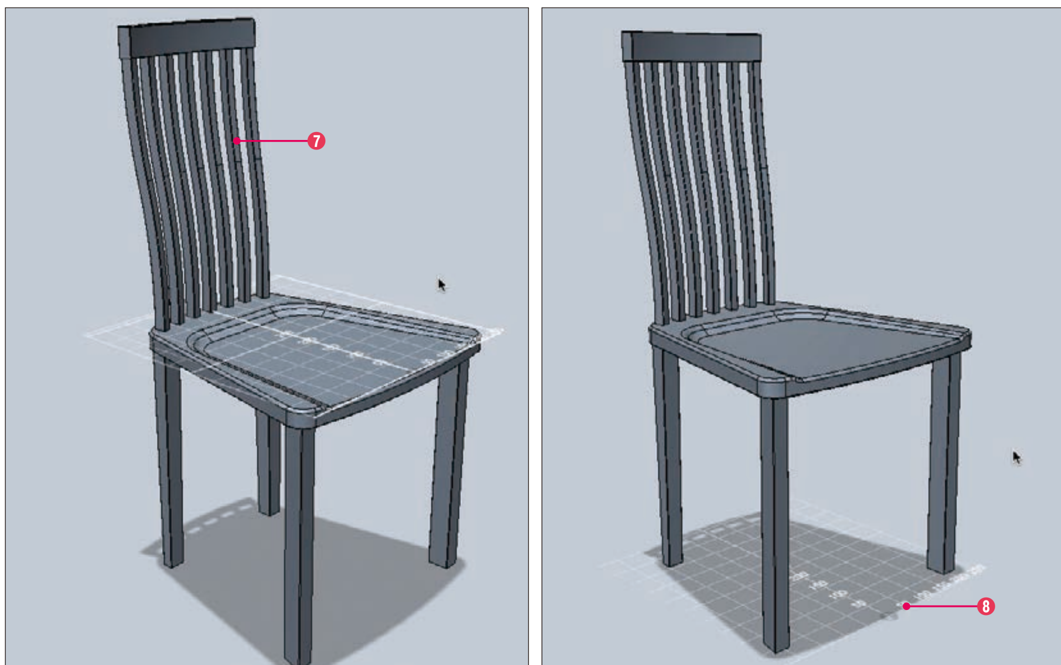



提示

在❻倒圆角时可能会出现提示 [Invalid Error] 错误而无法执行 [Fillet] 指令的情况。出错的原因有可能是由于 [Fillet] 指令所指定的边不完整（图中蓝色的线在某处有断开的情况）。在出错时可以通过转动靠背椅模型等方式确定指定的边是否完整。

### 步骤 6

最后将所有剩余的凸出边缘都倒圆角 1mm ❼。这时椅面上还可以看到草图平面，可能影响视觉效果，所以选择 [Transform] → [Move]，将靠背椅整体向上方移动 450mm ❽。

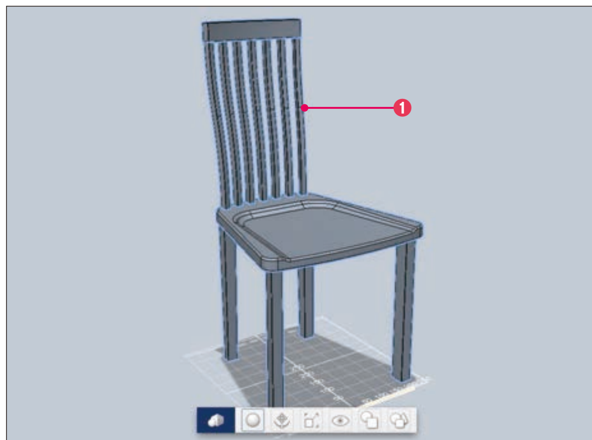



## 6.1.9 设定材质

下面，给之前建模好的模型设定木纹风格的质地。这个设定虽然对于主要用于制造的建模来说没有什么实际意义，但通过设定材质可以使模型显得更逼真，有助于边参考模型边进行相关讨论研究等过程。

### 步骤 1

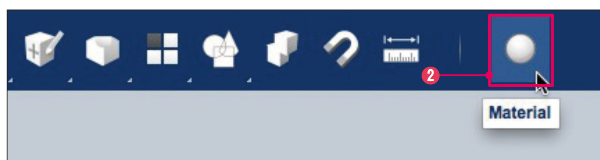
在没有选择任何指令的状态下选中靠背椅整体❶。

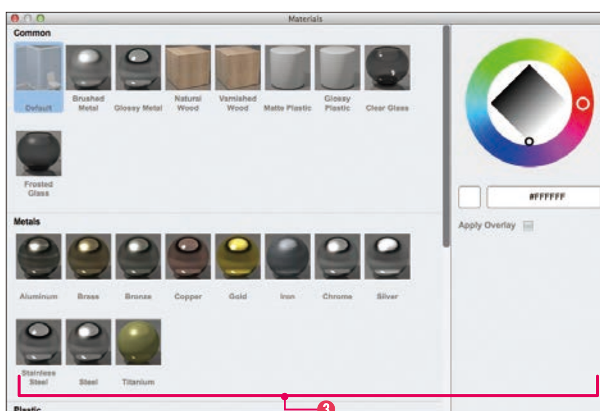


## 步骤 2

点击 [Material] 指令❷，弹出 [Material Browser] 对话框，这里可以选择各种材料（材质）❸。

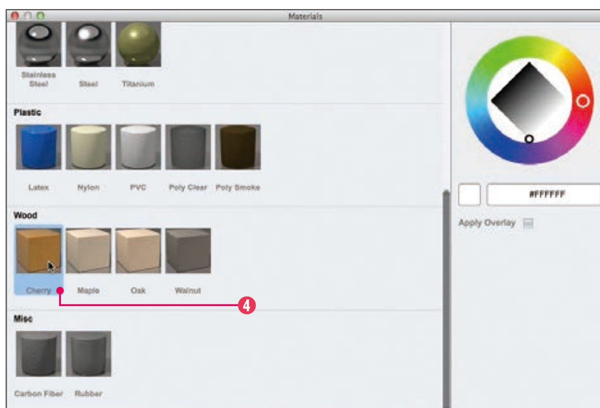
> 提示
> 这里我们为靠背椅选择了木纹效果，但除此之外还有 [Metal] 及 [Plastic] 等选项可选。




## 步骤 3

决定好以后用鼠标点击选择❹。这样就会在模型上体现相应材质的效果。




## 步骤 4

关闭这个菜单（没有 Close 按钮，Mac 和 Windows 都是点击窗口上的“×”）后，就可以看到靠背椅体现出了所选材质的视觉效果。



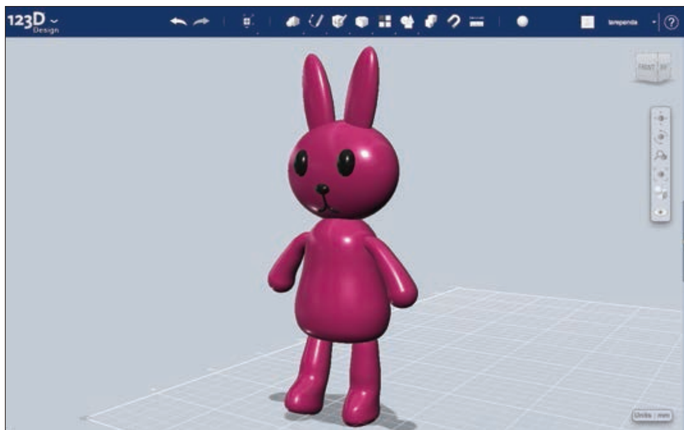
第6章

# 6.2 卡通兔的制作

前面的章节中建模了小件物品及靠背椅等工业产品。通常工业产品是通过直线或圆弧的尺寸规格来定义形状的，正如第 1 章中介绍的，CAD 软件擅长在这个领域建模。

对于一些具有丰富形状的卡通形象等，一般情况下是由 CG 类建模工具来完成建模的。但并不是说完全不能用 CAD 软件完成卡通类的形状建模，虽然无法做出 CG 那样特别灵活的形状，但一些简单的形状还是可以实现的。本节就以下图中的卡通兔为例，说明如何使用 123D Design 建模出丰富的曲面效果。

图 要制作的卡通兔




## 6.2.1 探讨建模方法

与 CG 类的多边形建模工具不同，CAD 软件在“仅使任意部分以任意量变形”这方面并不擅长。所以在建模上图的形状时需要先进行一定程度的规划。

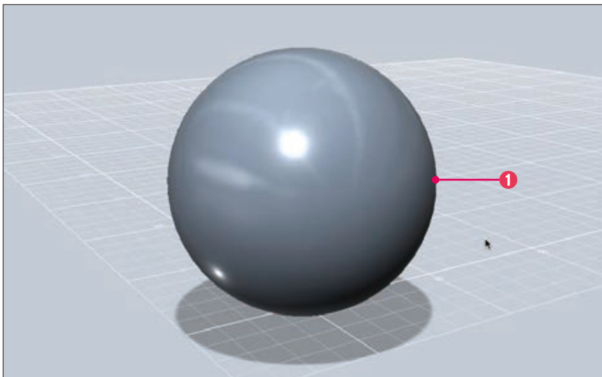
这里我们制作眼睛、耳朵、鼻子这些脸部形状时都将使用 [Primitives] → [Sphere] 指令，然后再通过给形状做相应的变形来完成。之后用 [Sweep] 指令制作嘴部，用 [Loft] 指令制作手臂和腿脚。在使用各种方法分别做好各个组件后，再将所有组件组合为一体形成兔子的形状。

## 6.2.2 建模头部

首先建模头部的形状。这里制作一个稍微有点儿扁的椭圆形球体。

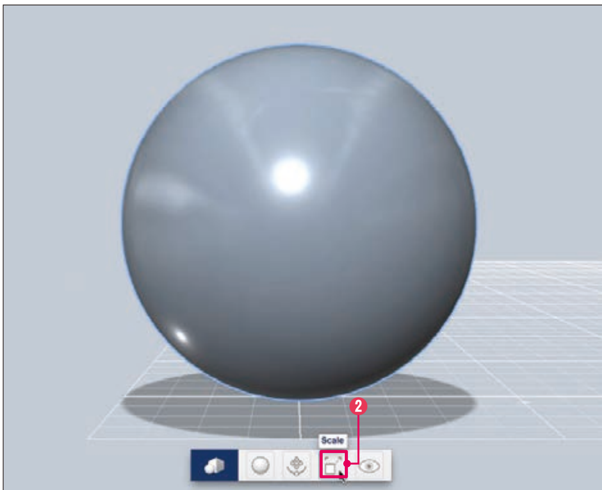
### 步骤 1

选择 [Primitives] → [Sphere] 后在原点的位置制作半径为 20mm 的球体❶。



### 步骤 2

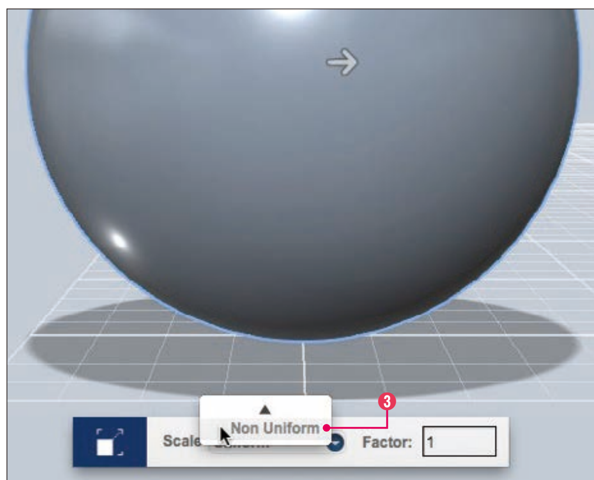
在没有选择任何指令的状态下点击这个球体，从弹出的齿轮图标处启动 [Scale] ❷。




### 步骤 3

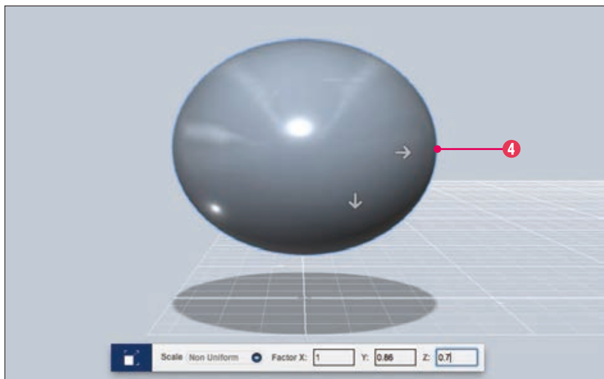
[Scale] 指令的默认选项为 [Uniform]，也就是说变形时 X、Y、Z 轴的比例锁定。

本次不需要锁定比例，而是做成椭圆形，所以将选项切换为 [Non Uniform] ❸。



## 步骤 4

以从正面观察实体的视角（FRONT 视角），将竖向（Z 轴）比例设为 0.7 倍，横向（Y 轴）比例设为 0.86 倍❹。



提示

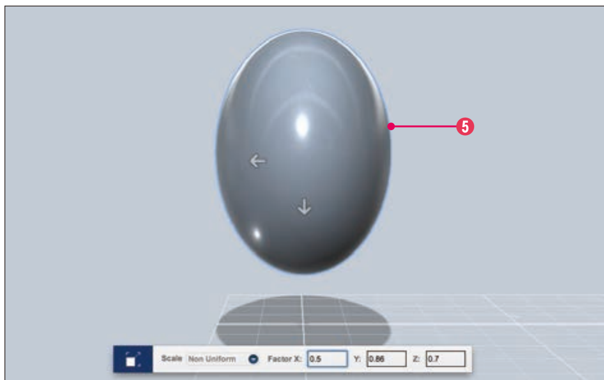
变形后的实际形状是凭感觉得到的效果，可以按照自己的喜好做成各种效果，这里的设定值仅供参考。

## 步骤 5

下面进行横向的变形（即正面视角时的纵深方向，这里需切换为 RIGHT 视角或 LEFT 视角），使球体变扁。

选择画面右上方 View Cube 的 LEFT（或 RIGHT），变成侧面视角后将 X 轴上的比例指定为 0.5 ❺。

这样就完成了头部形状，将文件命名为 face 并保存。



## 6.2.3 制作耳朵、眼睛、鼻子

下面使用制作头部形状时曾使用的 [Sphere] 指令和 [Scale] 指令制作卡通兔的耳朵、眼睛和鼻子，基本步骤与制作头部相同。需要分别新建文件然后按照如下步骤建模。下面使用制作头部形状时曾使用的 [Sphere] 指令和 [Scale] 指令制作卡通兔的耳朵、眼睛和鼻子，基本步骤与制作头部相同。需要分别新建文件然后按照如下步骤建模。

1. 使用 [Sphere] 指令制作球体的实体
2. 使用 [Scale] 指令以正面视角进行球体的变形
3. 使用 [Scale] 指令以侧面视角进行球体的变形
4. 将其作为头部的组件保存成单独的文件

下面按各部分的设定值进行建模。如前所述，这些数值都是参考值，可以在制作时根据自己对形状的实际感觉进行适当变化。

## 步骤 1

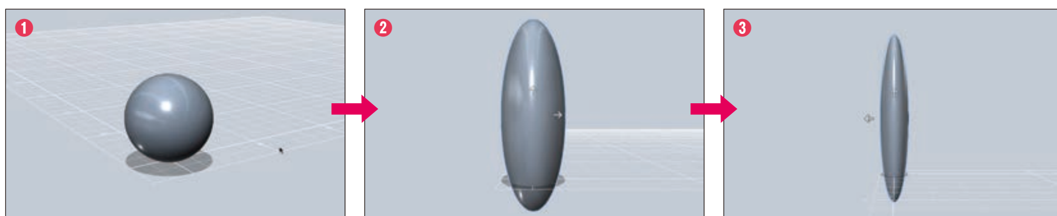
制作耳朵。

1. 选择 [Primitives] → [Sphere] 后制作半径为 10mm 的球体❶。

2. 将 [Scale] 设定为 [Non Uniform] 选项，并在 FRONT 视角下将竖向 ( Z 轴 ) 标尺设为 1.5 倍、横向 ( Y 轴 ) 标尺设为 0.5 倍进行变形❷。

3. 切换为 LEFT 视角，用 [Scale] 在纵深方向 ( X 轴 ) 上以 0.25 倍变形❸。

4. 这样就完成了耳朵，将其命名为 Ear 并保存文件。



## 步骤 2

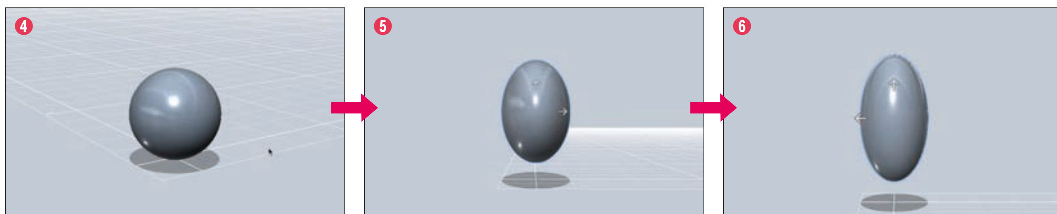
制作眼睛

1. 选择 [Primitives] → [Sphere] 制作半径为 5mm 的球体。❹。

2. 将 [Scale] 设定为 [Non Uniform] 选项，在 FRONT 视角将竖向 ( Z 轴 ) 设为 0.75 倍、横向 ( Y 轴 ) 设为 0.5 倍进行变形❺。

3. 切换为 LEFT 视角，用 [Scale] 在纵深方向 ( X 轴 ) 上以 0.4 倍变形❻。

4. 这样就完成了眼睛。命名为 Eye 并保存文件。



## 步骤 3

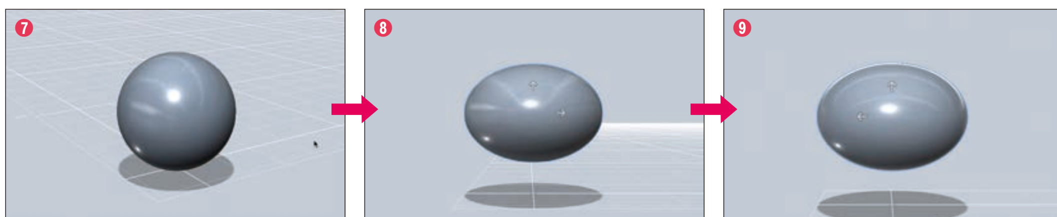
制作鼻子

1. 选择 [Primitives] → [Sphere] 制作半径为 3mm 的球体❼。

2. 将 [Scale] 设定为 [Non Uniform] 选项，在 FRONT 视角下将竖向 ( Z 轴 ) 标尺设为 0.6 倍、横向 ( Y 轴 ) 标尺设为 0.85 倍进行变形❽。

3. 切换为 LEFT 视角，用 [Scale] 在纵深方向 ( X 轴 ) 上以 0.84 倍变形❾。

4. 这样就完成了鼻子。命名为 Nose 并保存文件。



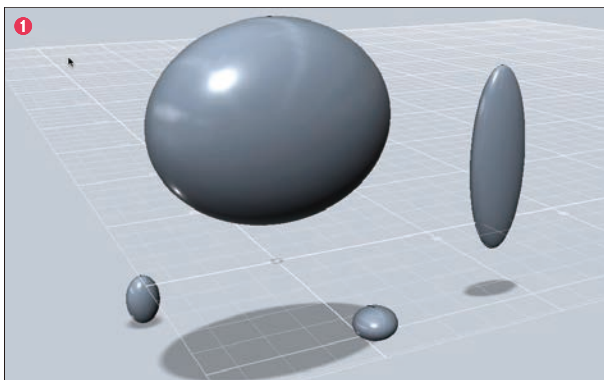
## 6.2.4 组装头部

通过上述各步骤即完成了除嘴以外的头部形状的组件，下面将这些组合起来制作头部。

### 步骤 1

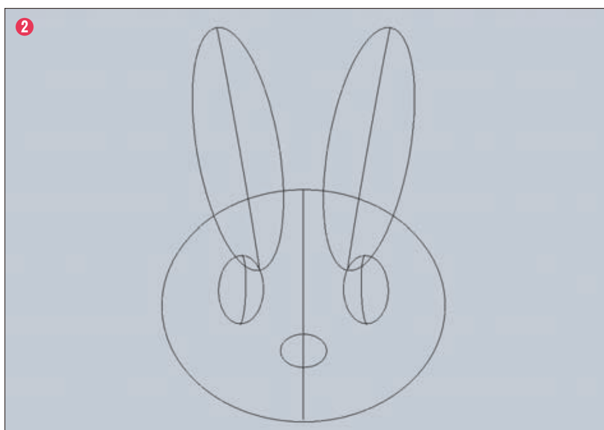
打开新建文件，选择 [Insert] 菜单→[Browse My Computer]，分别导入之前做好的头部、耳朵、眼睛、鼻子各文件❶。

导入后可将头部以外的其他组件移动到易于操作的位置。



### 步骤 2

下面如右图所示设置头部的各个组件❷。

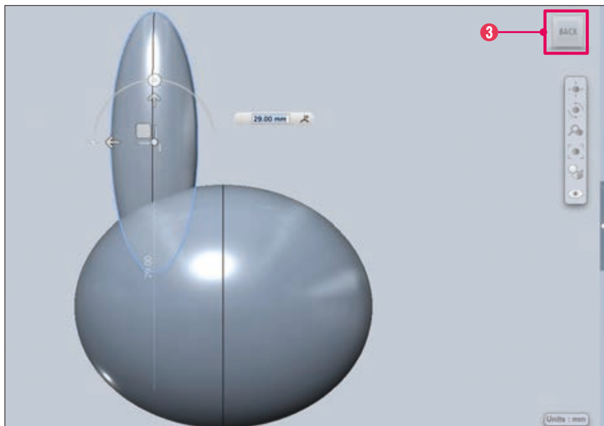


### 步骤 3

先放置耳朵的位置。

点击画面右上方 View Cube 的 [BACK]，切换至背面视角的状态❸，如右图所示放置耳朵。

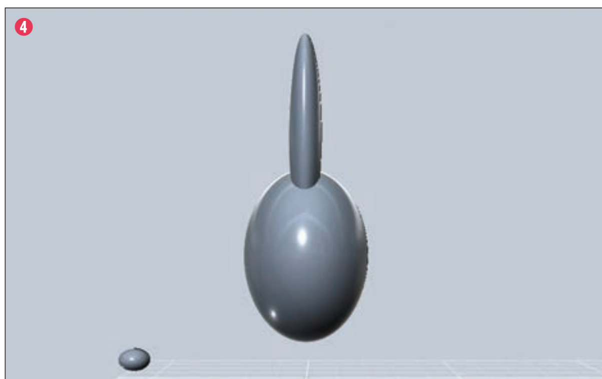
这里移动各个组件（对准位置）及进行角度调整都使用 [Transform]→[Move] 指令来完成。



## 步骤 4

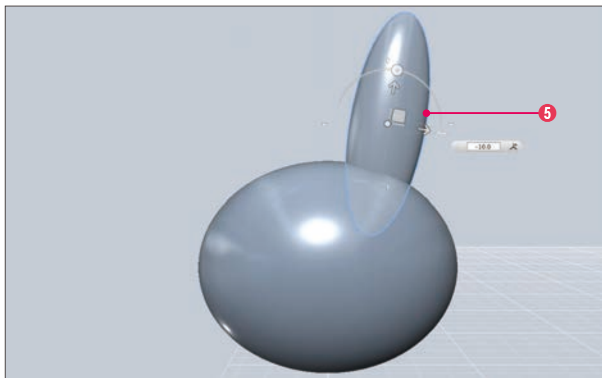
从侧面看的效果如图❹。

> 提示
> 在移动实体时可以根据需要一边切换视角一边找到合适的位置。在操作过程中也可以自由切换视角。



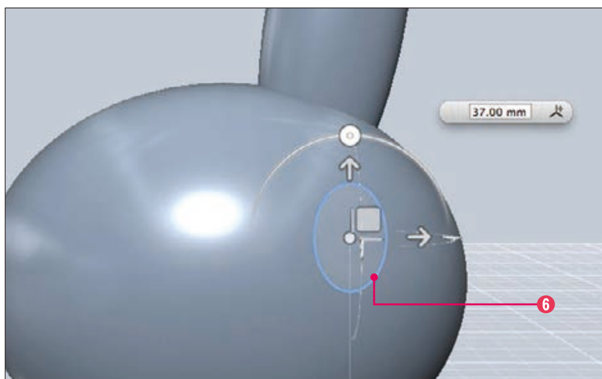

## 步骤 5

确定位置后将耳朵的角度调整为从正面看时向右侧倾斜 10 度左右❺。




## 步骤 6

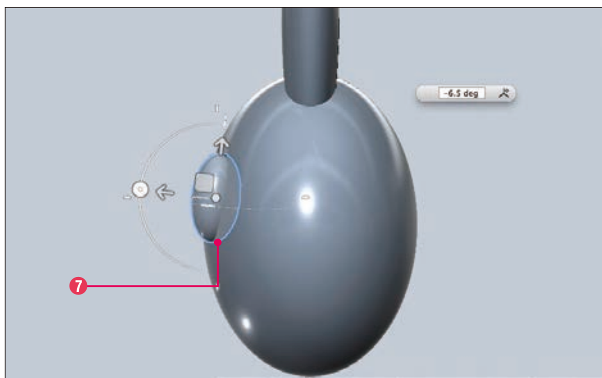
下面按照同样的方法放置眼睛。先从正面确定位置❻。




## 步骤 7

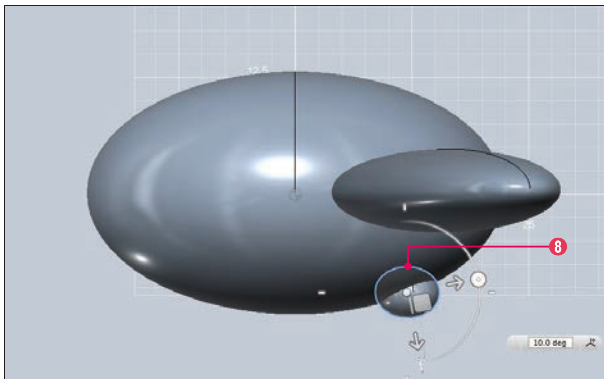
然后切换到侧面视角，调整纵深位置。

这里将角度调整为稍向上翘的效果以配合面部曲线❼。



## 步骤 8

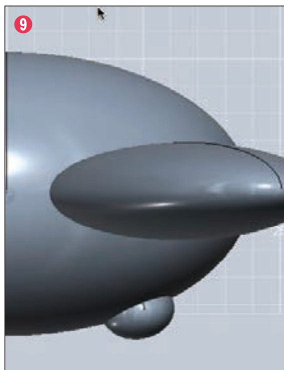
还要切换到从上方看的视角，配合面部的曲线对眼睛做相应调整❽。



## 步骤 9

这样就放置好了眼睛。

左图为从上方看的状态❾，右图为从侧面看的状态❿。

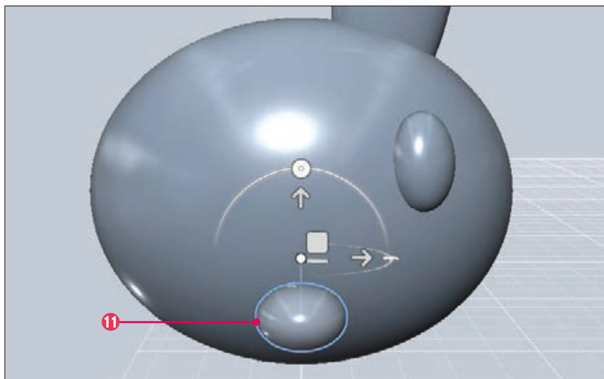




## 步骤 10

使用同样的方法放置鼻子。

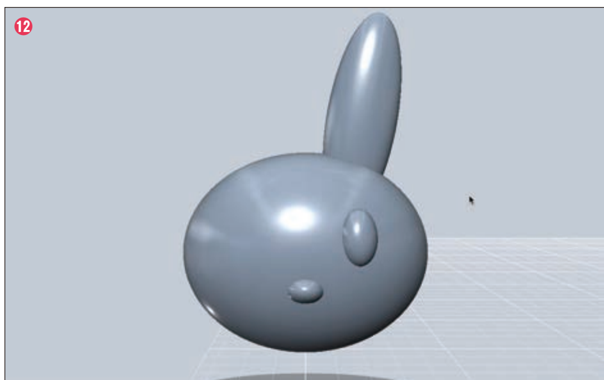
将鼻子放置在面部中央的位置⓫。



## 步骤 11

通过以上步骤就将单侧耳朵、单侧眼睛、鼻子放置在实体上了⓬。

由于耳朵和眼睛是以脸部中心为轴对称的，所以使用镜像指令来复制完成另一侧。

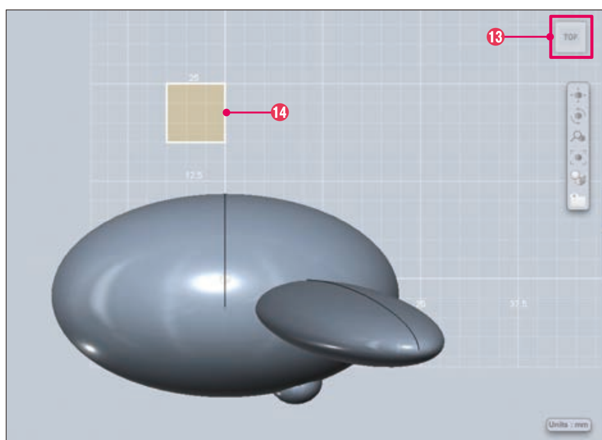


## 步骤 12

先制作镜像操作所需的对称面虚设实体。

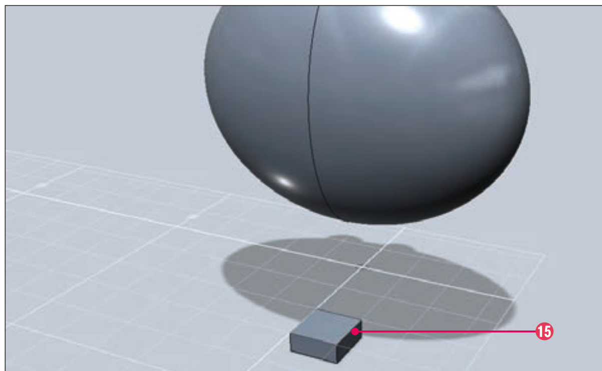
切换成从上方看的视角（TOP）⑬。

然后选择 [Sketch] → [Rectangle]，如图所示绘制有一条边在中心线上的正方形草图⑭（尺寸任意）。



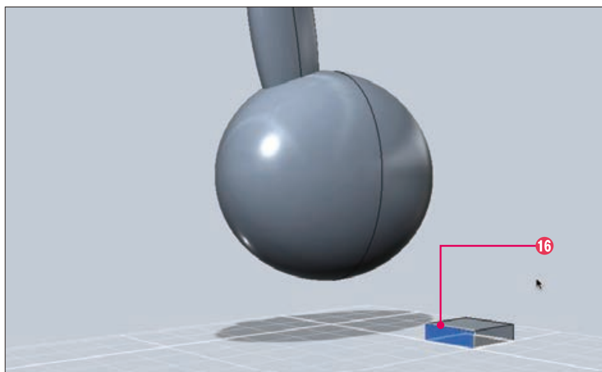

## 步骤 13

在没有选择任何指令的状态下点击正方形的草图，从齿轮图标处选择 [Extrude]，制作如图所示的实体⑮。该实体的高度任意。




## 步骤 14

使用图中蓝色的面作为镜像的对称面⑯。




提示

使用 [Mirror] 指令（镜像）制作左右对称的实体的方法与前一节中制作靠背椅时使用的方法相同，如果有的读者觉得这里看起来比较不容易理解可以参见靠背椅建模部分中使用 [Mirror] 指令的相关介绍内容（本书 6.1.5 节）。

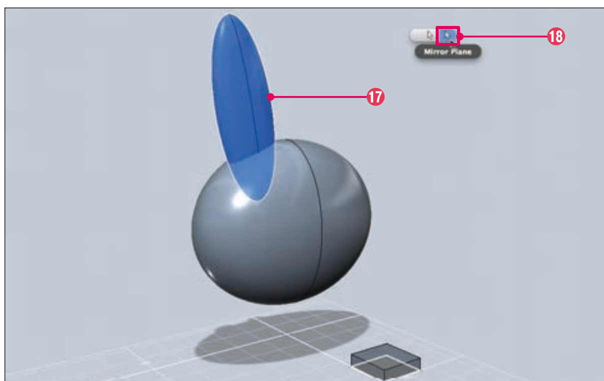
使用镜像的重点是制作实现对称轴功能的面。这里为上述长方体的一个面。也就是说，重要的是要有一个位置正确无误的可以作为对称轴的面，而这个长方体的大小或高矮等都不会有实质上的影响。

### 步骤 15

通过镜像复制耳朵。

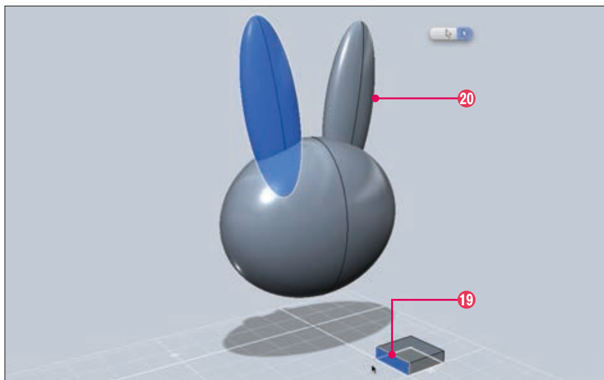
选择 [Pattern] → [Mirror]，先点击耳朵⑰。

之后在弹出的选项中选择右侧的箭头（Mirror Plane）⑱。




### 步骤 16

点击之前做好的对称面⑲。这样耳朵就被镜像复制了⑳。

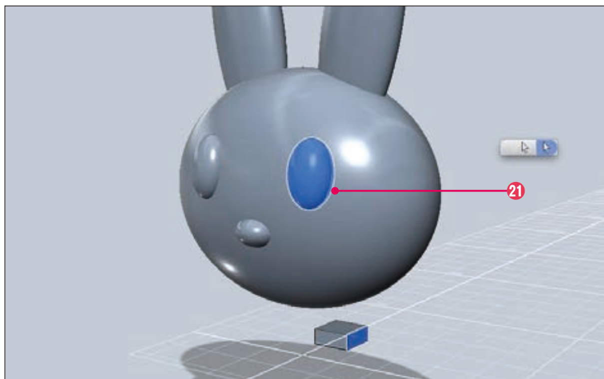



### 步骤 17

如右图所示，用同样的方法复制眼睛。

这样除嘴部之外㉑，头部的组件就完成了。

将这个头部以 Face_Assembly 为名保存文件。




## 6.2.5 制作嘴部

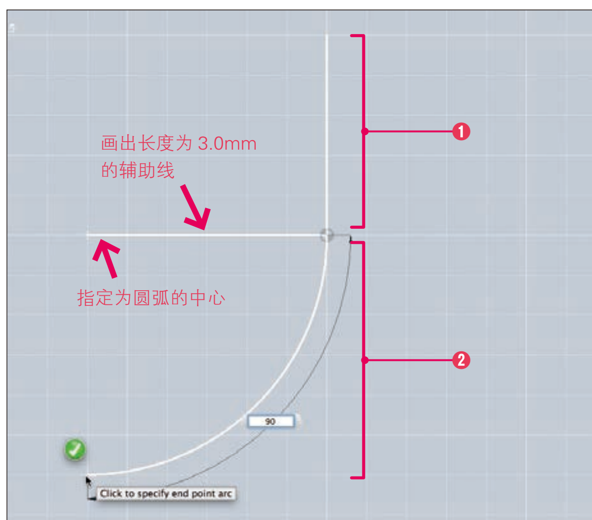
通过之前的组装步骤已经基本体现出了兔子的头部特征，虽然这样已经很不错了，但再有一个嘴可能更好看些，所以下面我们来制作嘴部的组件。

## 步骤 1

新建文件，如图所示绘制长度为 2.5mm 的竖向直线❶，从其前端开始再画出 R=3mm 的 90° 圆弧草图❷。

直线由 [Sketch] → [Polyline] 指令、圆弧由 [Sketch] → [Two Point Arc] 指令画出。

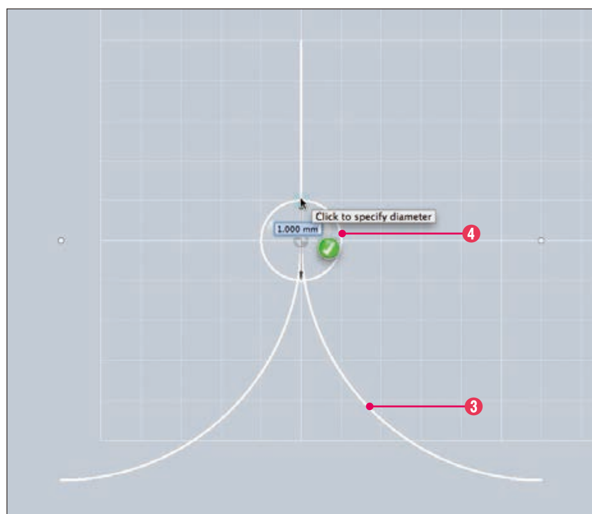
其中圆弧不是新建草图，所以需要将直线指定为草图面 ( Click to edit sketch )。另外在画圆弧时，为便于确定其圆心，需要像右图那样画出长度为 3.0mm 的水平线作为辅助线。




## 步骤 2

下面画右侧的对称圆弧草图❸。

在选择了 [Sketch] → [Circle] 之后点击显示网格的平面 ( 倒 Y 字以外的平面 )，在 Y 字分支点的位置画出直径为 1mm 的圆的草图❹。



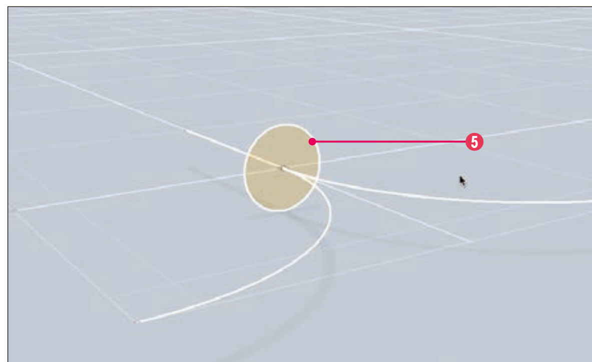

**警告！**

这里画出的圆将在之后的步骤中转动 90 度呈与轨道垂直相交的状态，所以一定不能画在倒 Y 字上，而是画在有网格的平面上。

如果在倒 Y 字图形的草图上画圆则会变成 [Edit Sketch Plane]，也就是在倒 Y 字草图上加一个圆的状态。

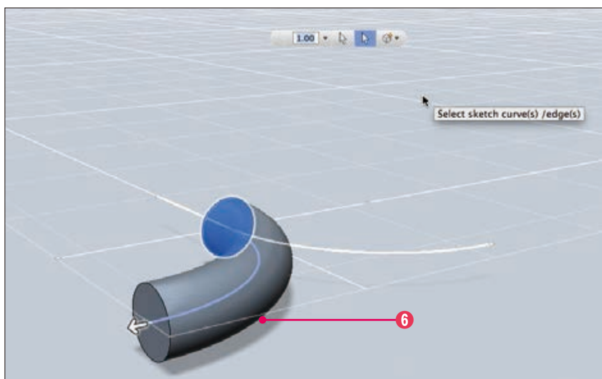
## 步骤 3

选择 [Transform] → [Move]，选择圆的草图并转动旋转箭头，使其转动 90 度后呈与轨道垂直相交的状态❺。



## 步骤 4

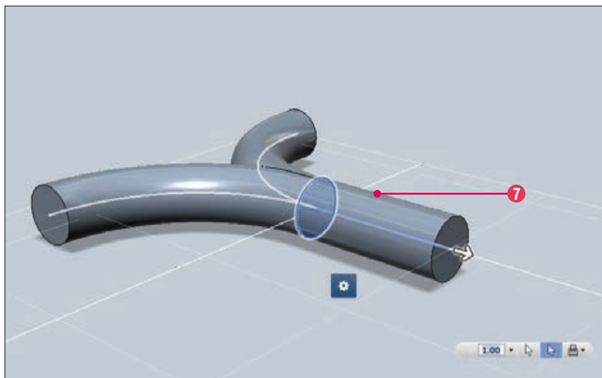
选 择 [Construct] → [Sweep]， 选中作为实体轮廓的圆，然后再点击选项右侧的箭头（Path），并选中左下方朝向的圆弧作为轨道。扫轨的长度比例设为 1.0，即可做成如右图所示的实体❻。




## 步骤 5

对组成 Y 字型的另外两条线也做同样的操作，即成图中所示实体❼。

这时将 [Extrude] 指令的选项设为 [Join]。



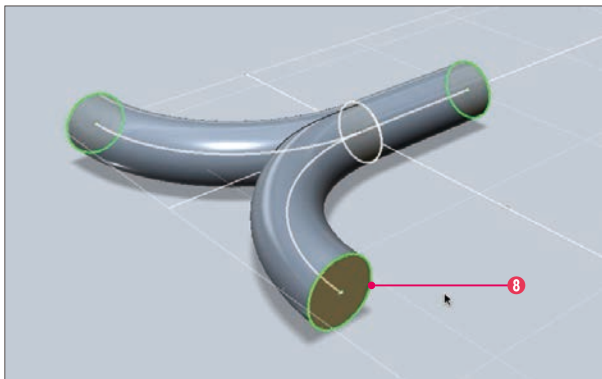

## 步骤 6

下面给 3 处平直的截面做出圆弧效果。

做圆的方法有很多种，这里采用的方法为：分别在截面上画出半圆，然后使半圆旋转 180 度（Revolve）形成圆弧效果。

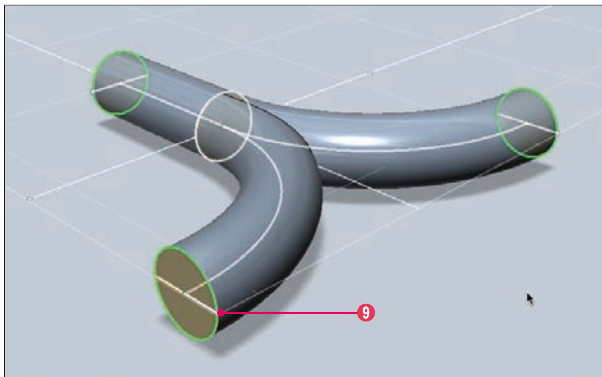
首先选择 [Sketch] → [Project]，分别投影 3 个截面的边❽。

这里的投影面就是各个截面，投影所得的边为各个截面的外圈边。投影需要针对每个截面逐个操作（重复 3 次）。




## 步骤 7

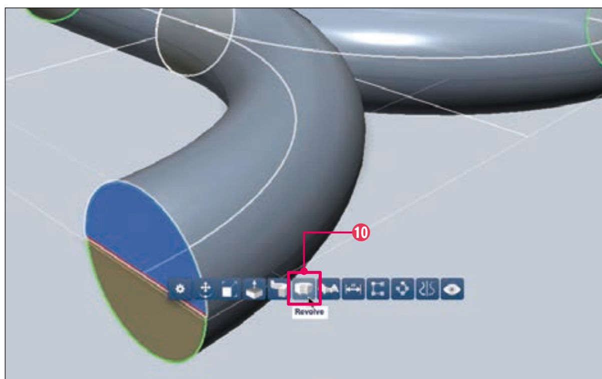
选 择 [Sketch] → [Polyline]， 分 别在每个截面的中央画直线，即将每个截面都分为两个半圆的区域❾。



## 步骤 8

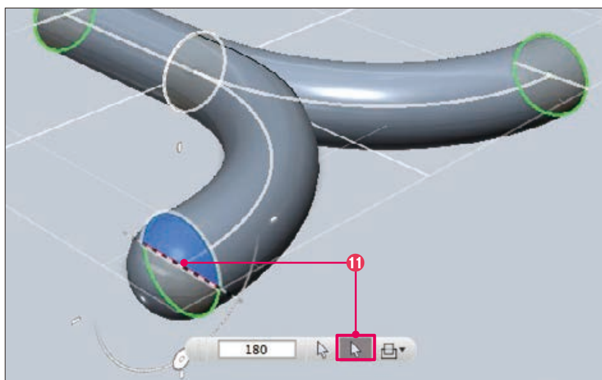
将其中一侧的区域以中心线为轴旋转 180 度。

在没有选择任何指令的状态下选中其中一个半圆区域，在弹出的齿轮图标处选择 [Revolve] ⑩。




## 步骤 9

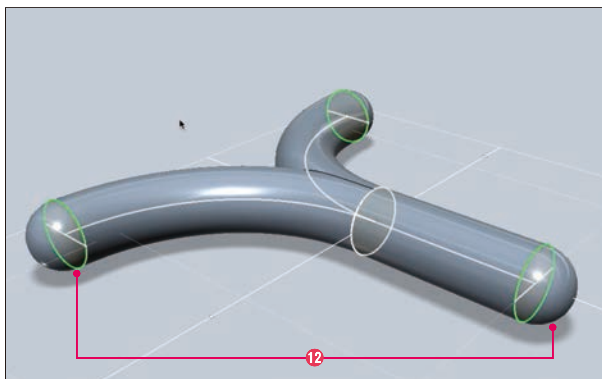
之后在选项处选择右侧的箭头（Axis），点击圆的中心线⑪。在对话框中输入 180，则截面变就变成了一个半球形。




## 步骤 10

按照如上相同的方法处理剩余两个截面⑫。

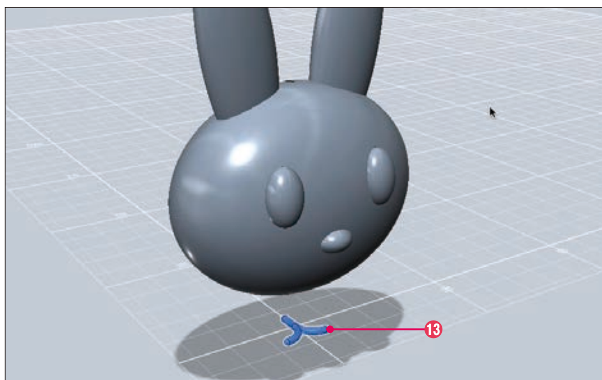
这样就完成了嘴部的制作，将该文件命名为 mouth 保存后关闭。




## 步骤 11

接下来将做好的嘴部安装在头部。

打开之前做好的 Face_Assembly，选择 [Insert] 菜单 → [Browse My Computer]，插入 mouth 文件⑬。

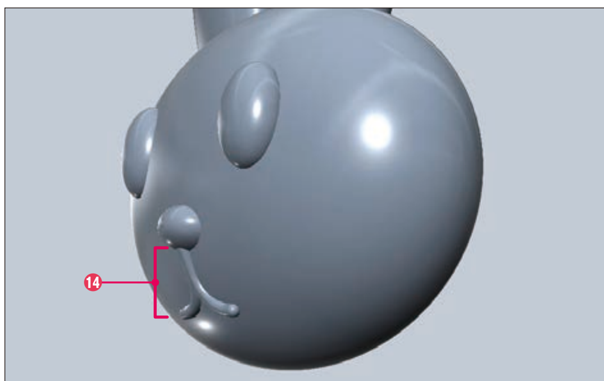


### 步骤 12

选择 [Transform] → [Move] 后，根据情况逐步调整嘴部的位置和角度以便放置在合适的位置。

需要一点一点进行微调来确定效果最好的位置。

达到如图的效果后⑭，覆盖保存在 Face_Assembly 文件中。

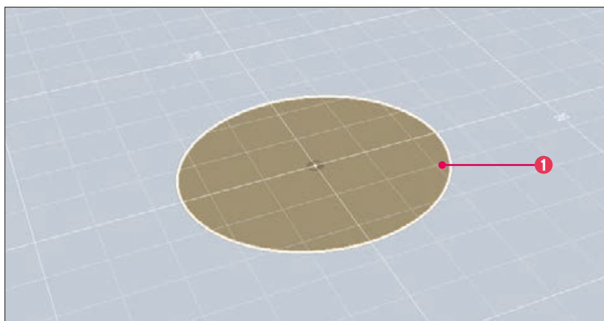



## 6.2.6 制作躯干

下面我们来制作躯干部分。这里制作的是截面为圆弧效果的、比较简单的躯干形状。先画出多个不同半径的圆形草图，然后使用这些截面草图来完成躯干形状。

### 步骤 1

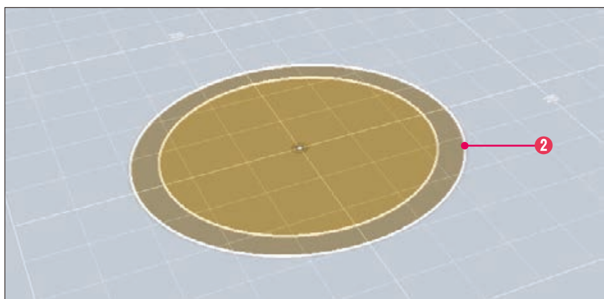
选择 [Sketch] → [Circle]，画出直径为 25mm 的圆形草图❶。




### 步骤 2

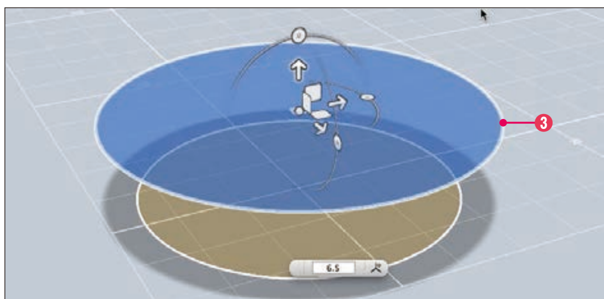
同样再画出直径为 30mm 的圆形草图❷。

要注意在画这个圆之前，需要点击 25mm 圆以外的区域再开始画。



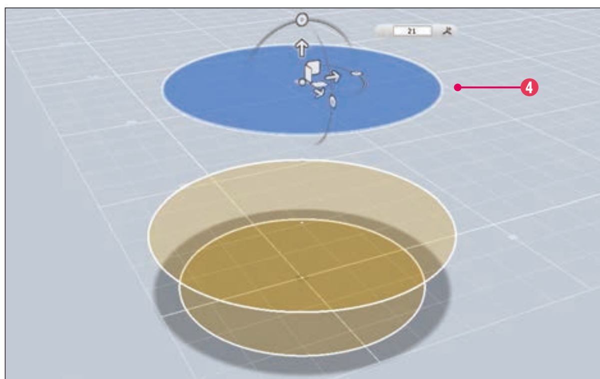

### 步骤 3

选择 [Transform] → [Move]，将直径为 30mm 的圆向上方移动 6.5mm ❸。



## 步骤 4

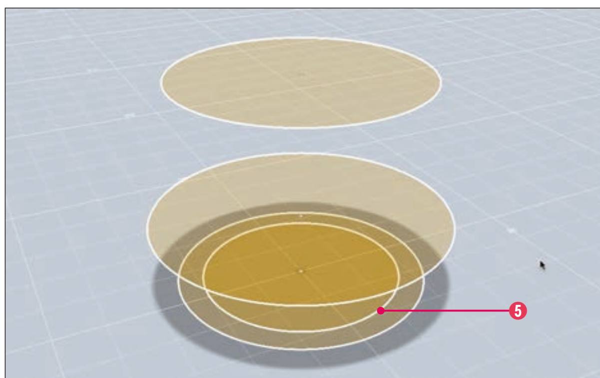
将位于底面的、直径为 25mm 的圆拷贝并粘贴，通过自动显示的 [Move] 箭头，将其向上移动 21mm ❹。




## 步骤 5

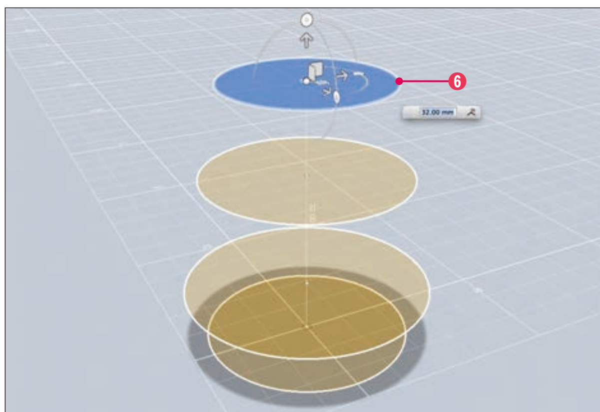
选择 [Sketch] → [Circle]，在底面新画一个直径为 20mm 的圆形草图❺。

画这个圆之前也需要先点击已经画好的圆之外的区域。




## 步骤 6

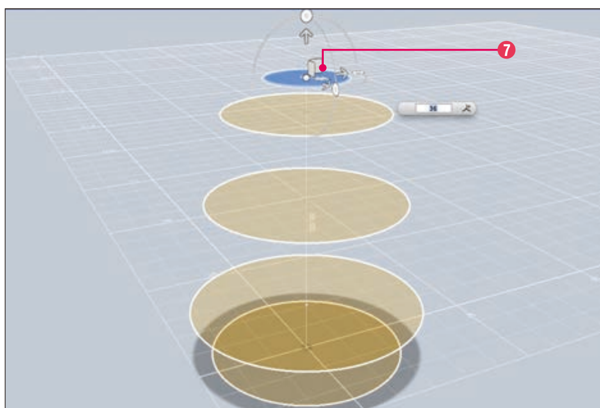
选择 [Transform] → [Move]，如右图所示，将直径为 20mm 的圆向上移动 32mm ❻。




## 步骤 7

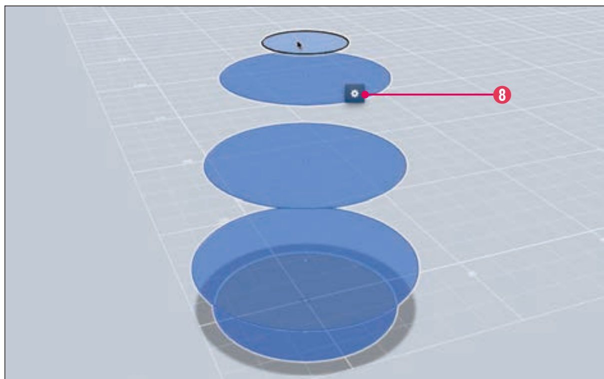
按照相同的方法，使用 [Sketch] → [Circle] 画出直径为 10mm 的圆并向上方移动 36mm ❼。

这样就完成了制作躯干部分所需的截面草图。



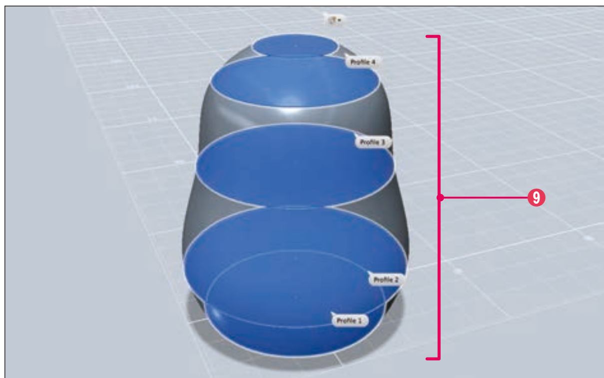
## 步骤 8

在没有选择任何指令的状态下按住 Shift 键选中所有截面，在弹出的齿轮图标中选择 [Loft] 8。




## 步骤 9

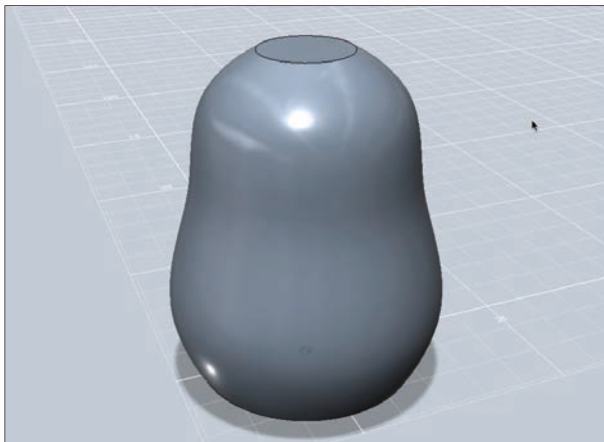
这时可以确认放样后的状态。在这里要确认所有的圆上都显示有 [Profile]，即这些截面都用于放样9。




## 步骤 10

这样就完成了躯干部分。在组合其他组件阶段还会进行最终调整。

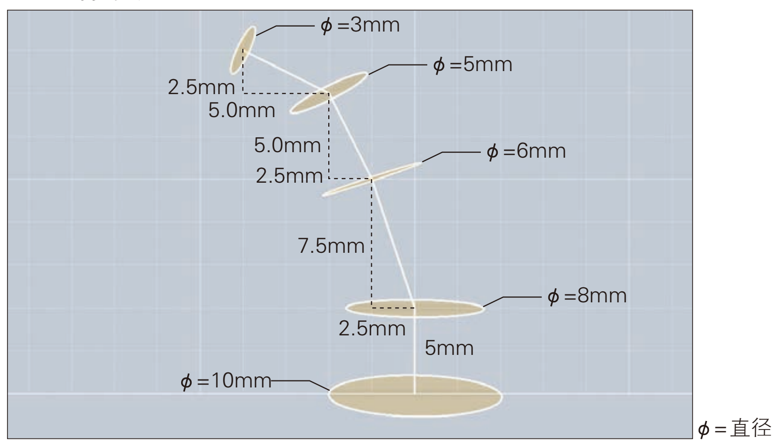
命名为 Body 并保存文件。



## 6.2.7 制作手臂

制作手臂也使用 [Loft] 指令，不过考虑到手臂的弯曲形态，在制作截面时会如下图所示变换一定的角度。

图 ■ 手臂的角度




ϕ＝直径

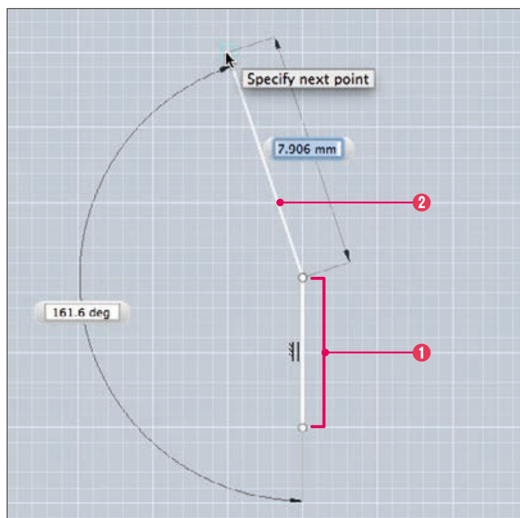
## 步骤 1

选择 [New] 菜单，打开新的文件。

选择 [Sketch] → [Polyline] 绘制如图所示的线。

首先画出全长为 5mm 的垂直线❶，然后在其上方画出斜线❷。

斜线与垂直线成 18.4° 角，不过直接参照横向 2.5mm、竖向 7.5mm 处的网格线会更容易画出来。

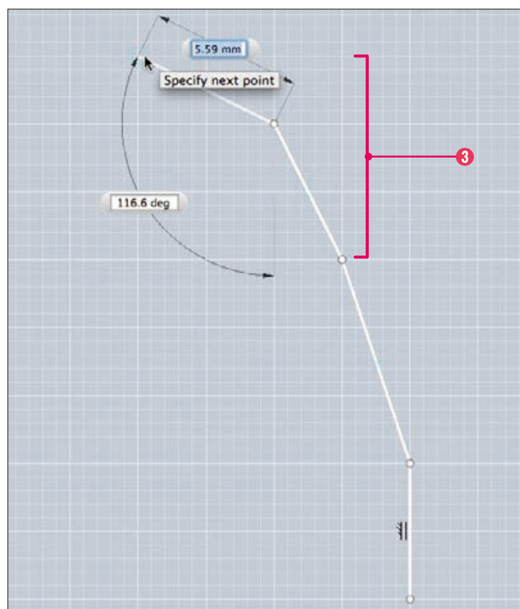



## 步骤 2

下面绘制剩余两条线的草图❸。

画这些线时需要注意的是，将 CAD 基准面上显示的网格设为每格 1mm 或 0.5mm。这样，画线时就能够不以角度和线长来处理，而是按照横向若干 mm、竖向若干 mm 的形式来画线。

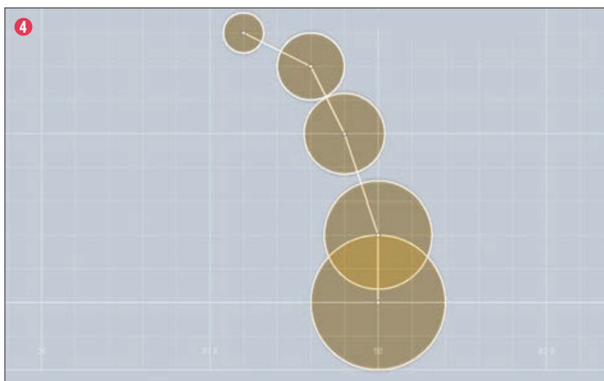
各段线的位置关系参照前面“手臂的角度”一图中所标注的数据。



## 步骤 3

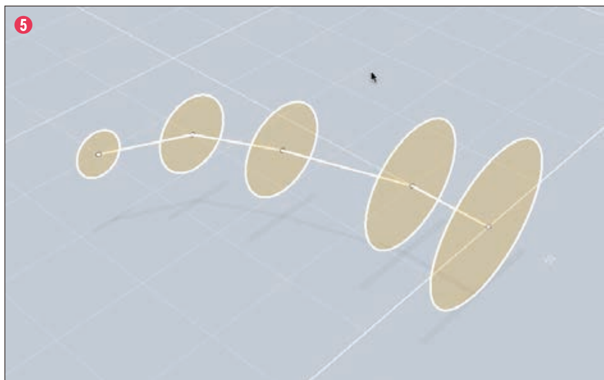
画好各段线的草图后，按照前页图中标注的数据在各节点绘制相应半径的圆❹。

注意各圆不能画在线段上，而是需要画出独立的草图（选择指令后在确定草图面时请点击有网格的面）。



## 步骤 4

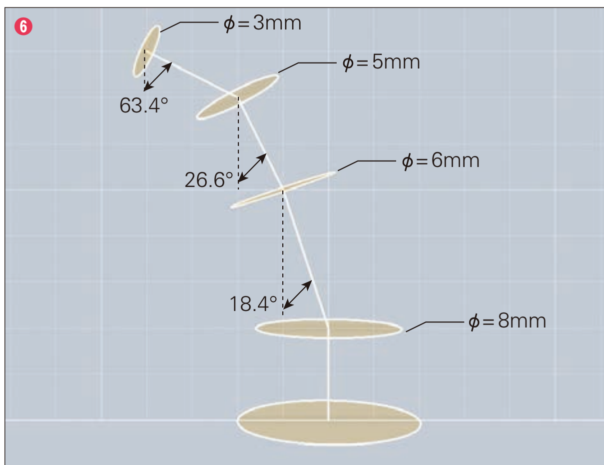
选择 [Transform] → [Move]，如图所示将所有的圆转动 90 度❺。



## 步骤 5

这里下方的两个圆保持现有状态即可，上方的 3 个圆需要在 Z 轴上调整角度，指定的角度如图所示❻。

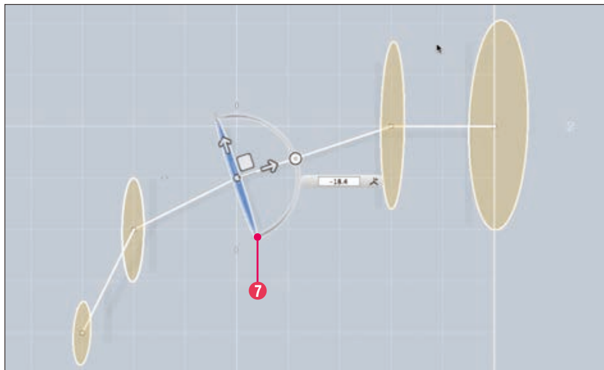
中央那个 $\phi$ =6mm 的圆其角度为 18.4°，比这个圆稍远一些的 $\phi$ =5mm 的圆为 26.6°，最远处 $\phi$ =3mm 的圆为 63.4°。




## 步骤 6

选择 [Transform] → [Move]，选中位于中央的 $\phi$ =6mm 的圆，使其在 Z 轴上转动 18.4° ❼。

> 提示
> 所谓 Z 轴就是在 TOP 视角状态下从正上方贯穿到正下方的轴。

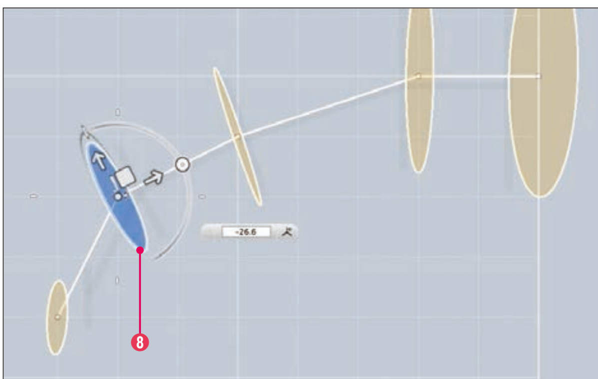


第 6 章

实战 产品制造的 3D 建模之二——制作靠背椅、卡通形象

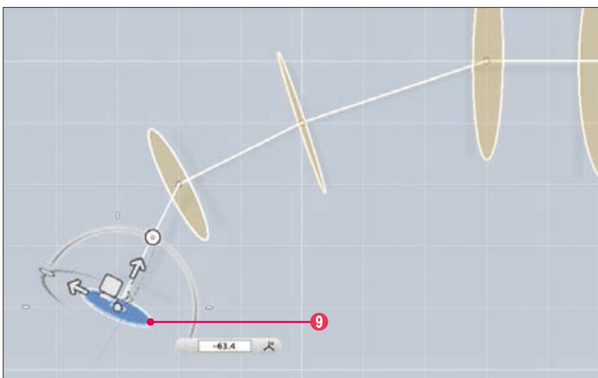
## 步骤 7

按照同样的方法，转动旁边的圆❽。角度为在 Z 轴上转动 26.6° 。




## 步骤 8

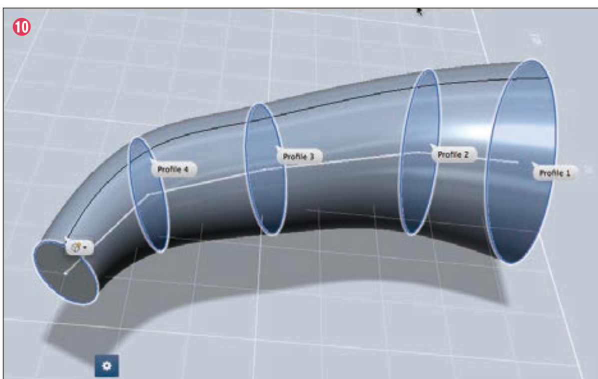
按照同样的方法转动最远处的圆❾。角度为在 Z 轴上转动 63.4° 。




## 步骤 9

所有的角度都调整好以后对这些截面执行 [Loft] 指令。

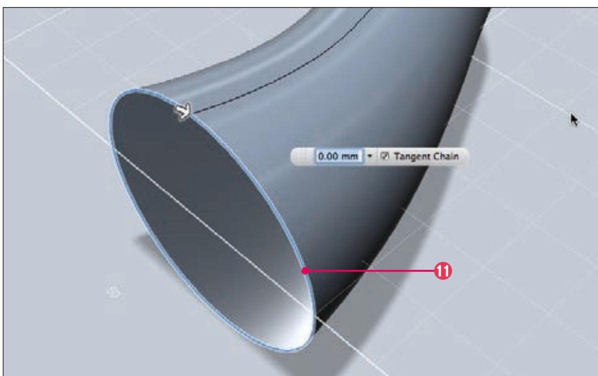
在没有选择任何指令的状态下，选择所有截面，从弹出的齿轮处选择 [Loft] 并执行❿。




## 步骤 10

由于截面为硬角，所以选择 [Modify] → [Fillet] 给手臂粗的一端的截面边做 4mm 的倒圆角⓫。

手臂细的一端（上臂）会接到躯体之中，所以不用做什么特别的处理。



### 步骤 11

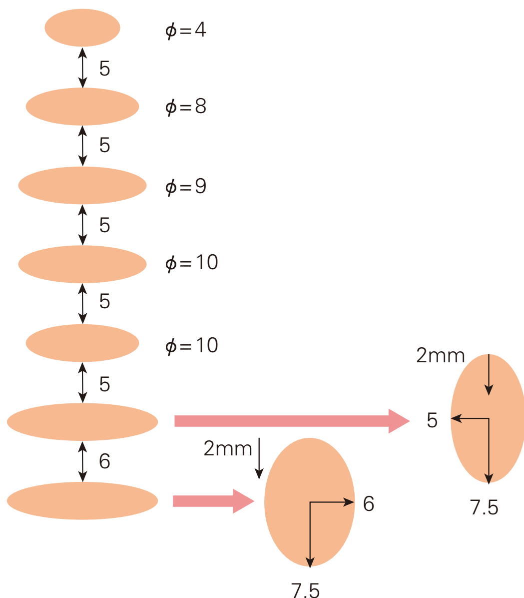
这样就完成了手臂⑫。将其命名为 Arm 并保存文件。




## 6.2.8 制作腿脚

最后制作腿脚，也使用 [Loft] 指令完成。腿脚的截面如下图所示，最下面的两个截面为椭圆，而且这两个截面间的距离为 6mm，其他所有截面的间隔都为 5mm。

图 ■ 腿脚的截面



## 步骤 1

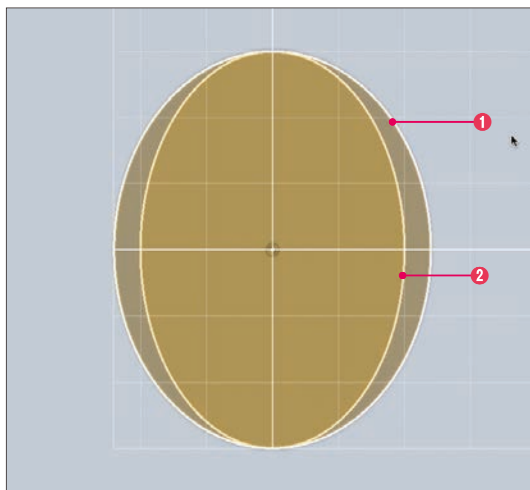
选择 [New] 菜单打开新的文件。

选择 [Sketch] → [Ellipse]，绘制长轴半径为 7.5mm、短轴半径为 6mm 的椭圆形草图❶。

之后再绘制一个长轴半径为 7.5mm、短轴半径为 5mm 的椭圆形草图❷。

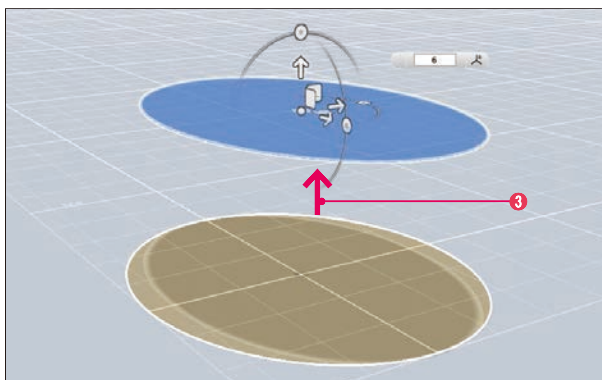
**警告！**

在绘制第二个椭圆之前需要先指定有网格的面，不能画在第一个椭圆上。



## 步骤 2

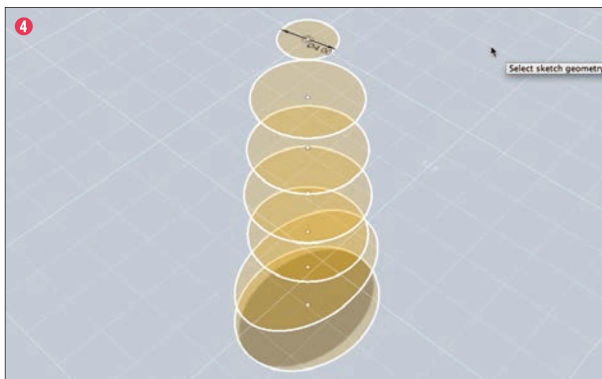
选择 [Transform] → [Move]，将小的椭圆向上方移动 6mm ❸。



## 步骤 3

按照同样的步骤画出“腿脚的截面”一图中剩余的圆形草图并移动到相应的位置❹。

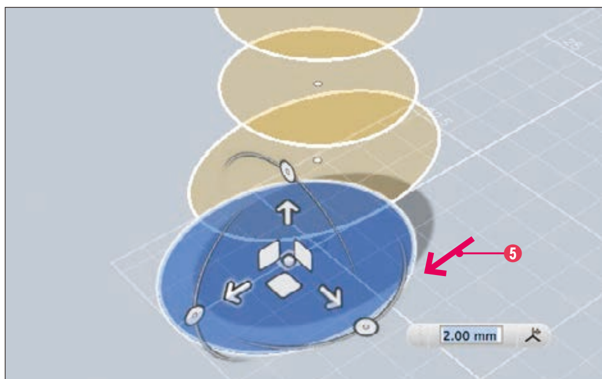
画好所有的草图后先不执行 [Loft] 指令，而是为了让最终形状更自然，将下方的两个椭圆稍向前移动。




## 步骤 4

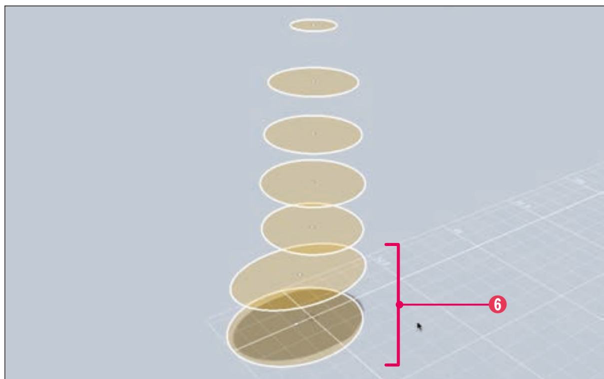
选择 [Transform] → [Move]，将最下方的两个椭圆向前移动 2mm ❺。

移动的前方为脚尖，后方为脚跟。



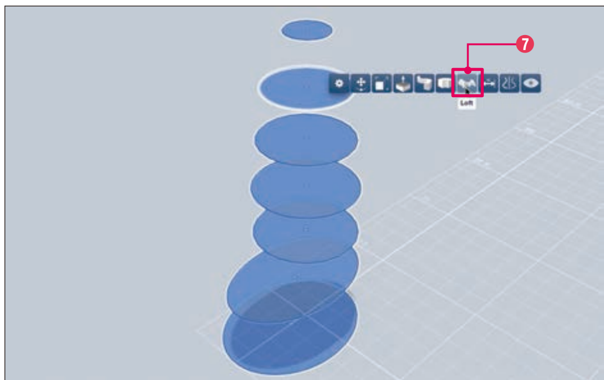
## 步骤 5

这样就做好了放样之前的准备❻。



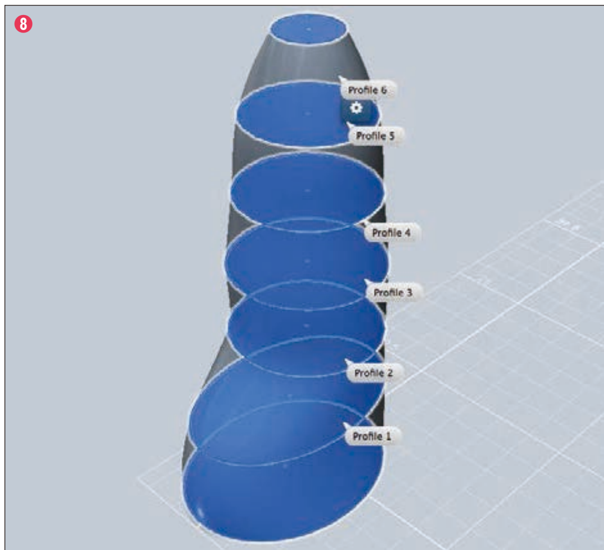
## 步骤 6

在没有选择任何指令的状态下，选择所有的椭圆和圆形，从弹出的齿轮图标中选择 [Loft] ❼。



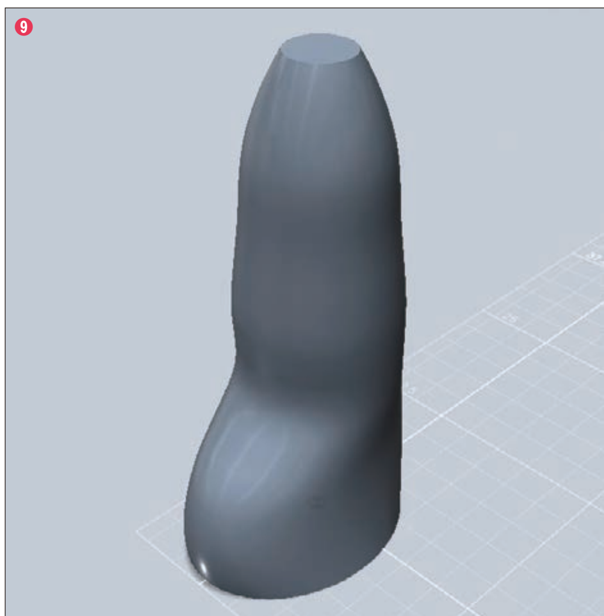
## 步骤 7

如图所示，预览将要做成的实体❽。确定后按回车键（Mac 为 Return 键）执行指令。



### 步骤 8

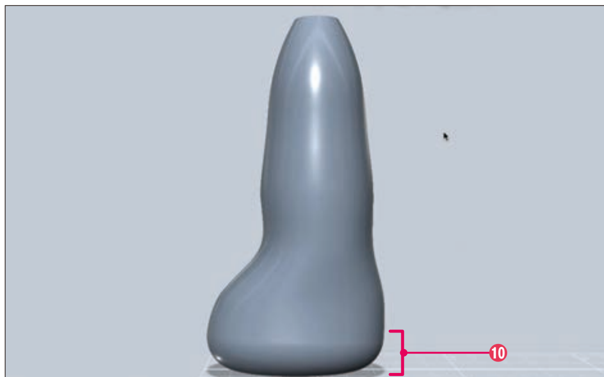
这样就完成了腿脚形状的放样❾。



### 步骤 9

最后选择 [Modify] → [Fillet]，将脚底的边倒圆角 3mm ❿，使外观看起来更可爱。

这样腿脚就完成了，命名为 Foot 并保存文件。

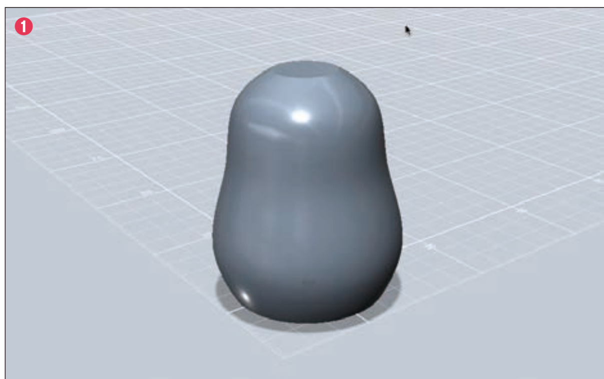


## 6.2.9 整体组装

最后进行头部、身体、手脚的组合，完成整只卡通兔。

### 步骤 1

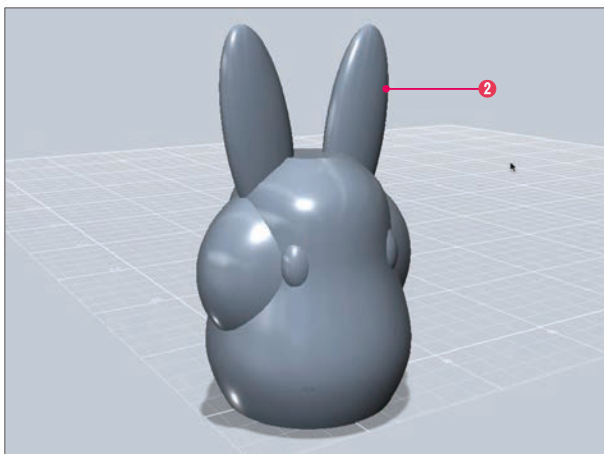
先打开 Body 文件❶。



## 步骤 2

然后选择 [Insert] 菜单→ [Browse My Computer]，打开 Face_Assembly（头部的文件）❷。

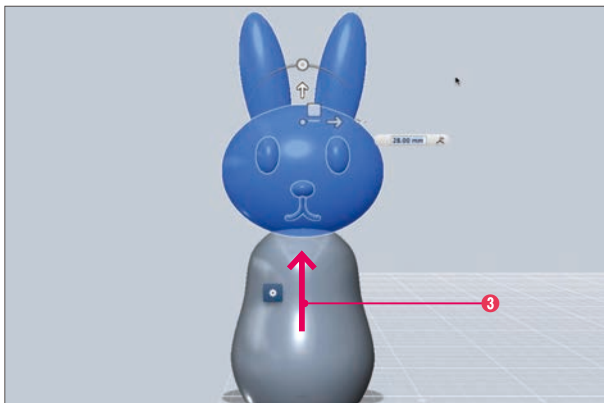
这里虽然插入了头部的实体，但与躯干部分重叠了，所以需要把这部分上提到合适的位置。




## 步骤 3

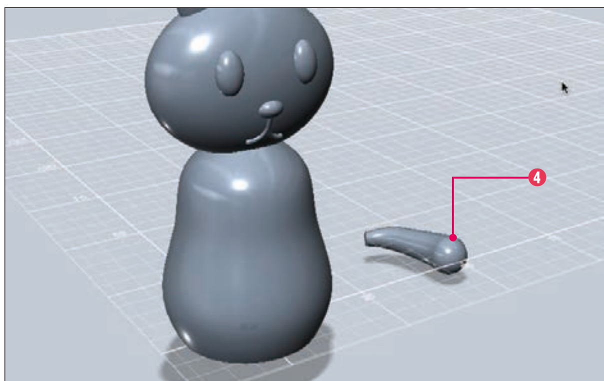
选择 [Transform] → [Move]，选中头部，将其移动到适当的位置❸。

完成移动后选择 [Grouping] → [Group] 将头部与躯干组合起来。




## 步骤 4

接着导入手臂（Arm）❹。

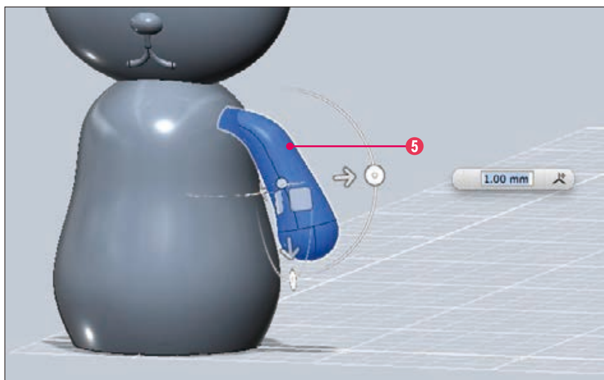



## 步骤 5

选择 [Transform] → [Move]，移动手臂的位置并调整角度，将其放置在适当的位置上❺。

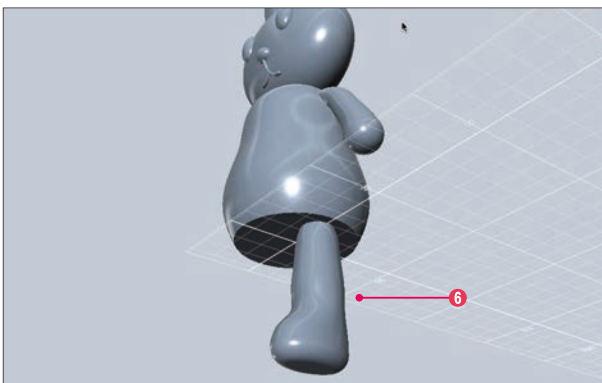
除正面视角外，也要切换到其他视角从左右各方向确认相应位置。

由于手臂之后还要进行镜像复制，所以先不做组合操作。



## 步骤 6

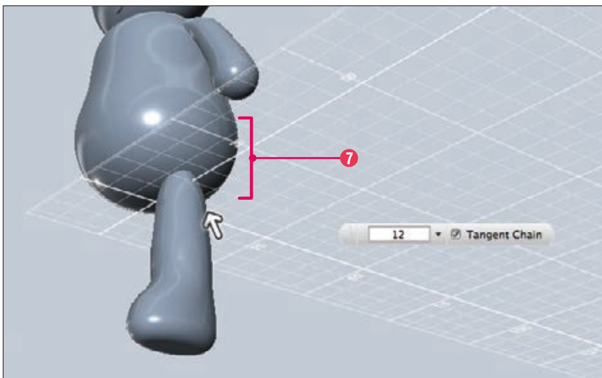
最后导入腿脚 ( Foot )。与手臂的操作相同，也需要使用 [Transform] → [Move] 将其移动到适当的位置❻。




## 步骤 7

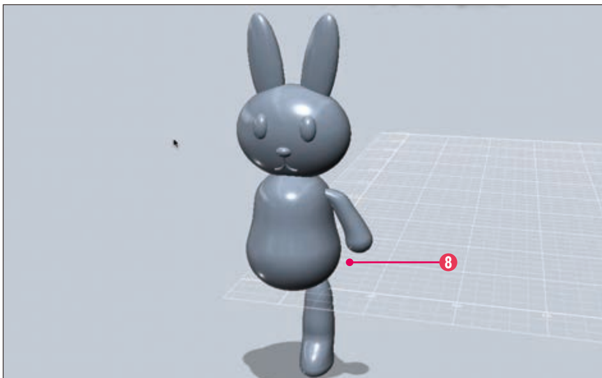
基本确定了腿脚的位置后发现躯干部分的底面是平的，不够美观。

所以选择 [Modify] → [Fillet]，选中躯干的底面，倒圆角 12mm。❼。




## 步骤 8

这时完成的效果如图所示，可以看到躯干底面已经削圆了❽。

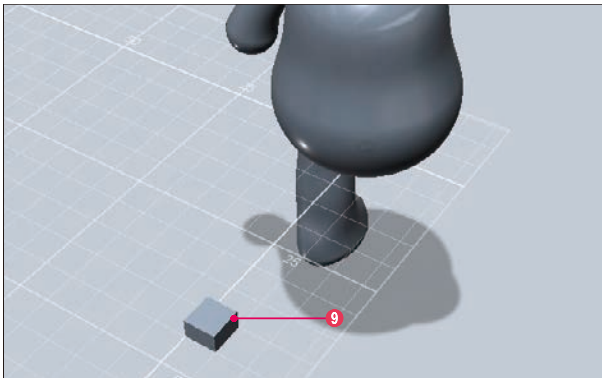



## 步骤 9

最后使用镜像复制手臂和腿脚。

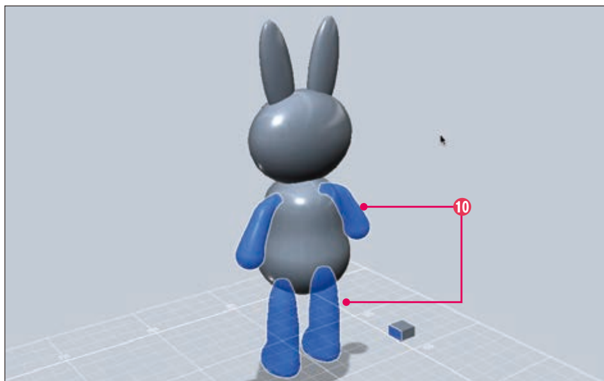
这里借用复制耳朵和眼睛时使用的虚设长方体❾。

> 提示
>
> 关于镜像的复制方法，请参见本书 6.2.4 节等的相关内容。



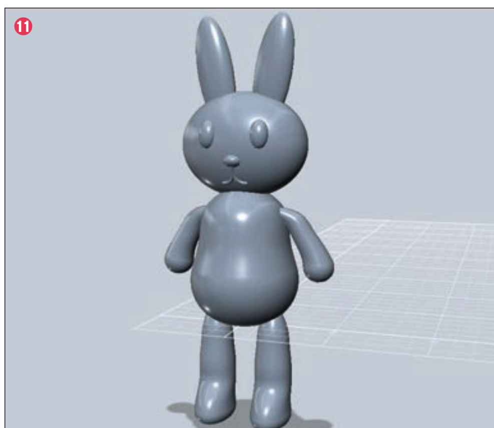
## 步骤 10

选择 [Pattern] → [Mirror]，同时复制手臂和腿脚⑩。




## 步骤 11

这样就完成了卡通兔的建模⑪。




## 步骤 12

选中实体后点击 [Material] 指令⑫，打开 [Material] 对话框，在对话框中选择任意颜色⑬。

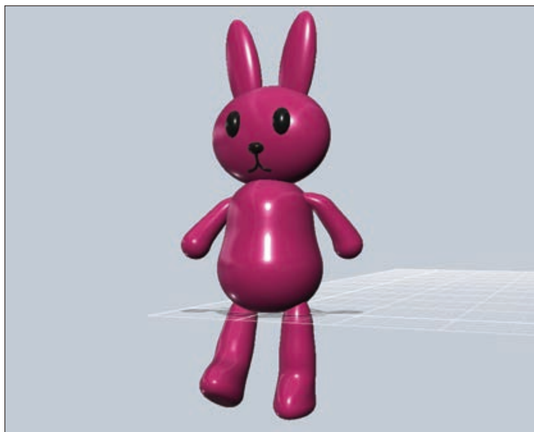
兔子的卡通形象还没有 [Combine]，所以可以给每个组件分别指定颜色（眼睛为黑色、身体为粉色等）。




## 步骤 13

使用 [Transform] → [Move]，还可以调整出挥手、伸脚和一些表情的变化。

到此，兔子的建模作业就全部完成了。



专栏



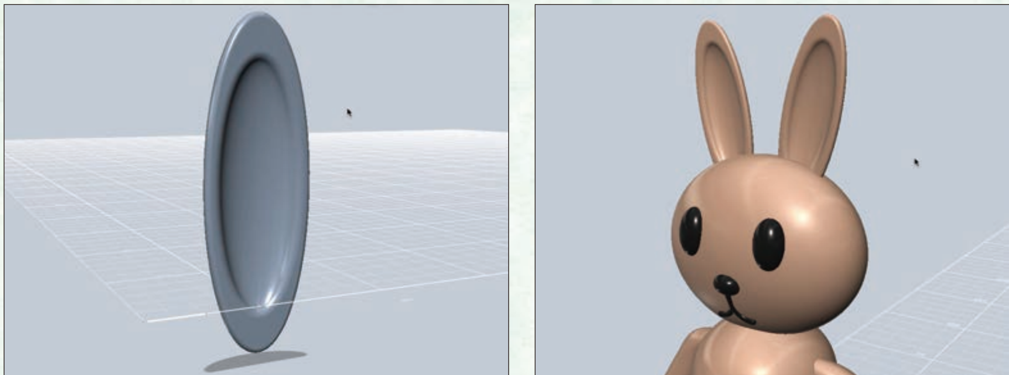
## 追求个性化加工，不断提高自身水平

本书介绍了 3D 建模的基本操作方法和使用 123D Design 制作实体的方法，但由于篇幅的限制，只是将介绍的重点放在了各产品的基础形状上，产品的品质还不够完美。所以看过本书的介绍后一定还有读者会产生把这些产品再加工一下的冲动。

如果你有这样的想法，就一定要使用本书介绍的各种方法，继续挑战一下产品的个性化加工。当然，如果没有明确的流程可循，在加工时可能会遇到一些困难和疑惑，但试错的过程本身也正是提高自身 3D 建模能力的有效途径。此外，也可以按照自己的想法做出本书没有呈现出来的作品，这也是非常不错的学习方法。

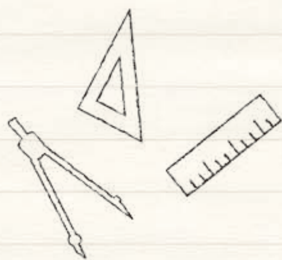
在这里，笔者想给大家留一项作业。本书中建模的兔子耳朵是通过将球体拉长来完成的，但如果能做出来更像兔子耳朵的形状就更好了。所以笔者试着做了下图中的耳朵，你也来试做一下这个形状吧。

图 ■ 制作耳朵



给大家一些提示。如果要制作图中的耳朵，可以使用 [Split Solid] 指令和 [Combine] 指令的 [Subtract] 选项。使用 [Split Solid] 指令可以用来删除实体。另外，指定 [Combine] 指令的 [Subtract] 选项可以用来按照任意形状挖槽。

上述方法的具体步骤记录在本书的下载数据中。



# 第7章 将3D数据制造成实物的方法

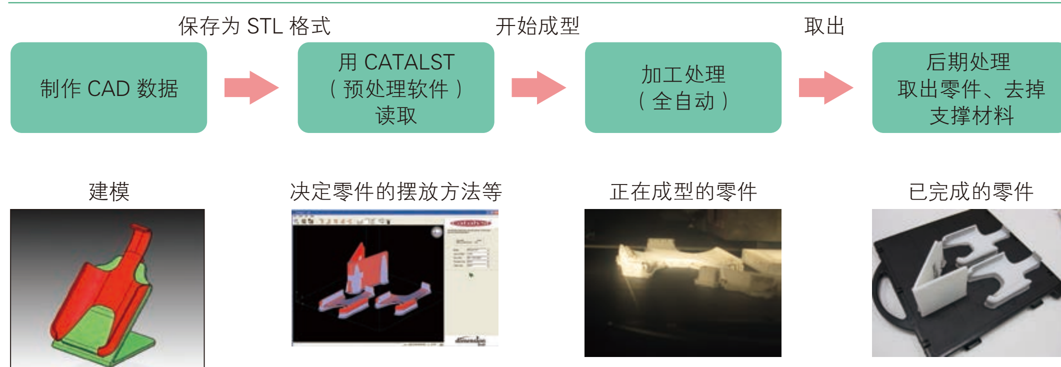
在第3章至第6章的内容中，我们使用3D CAD进行了各种建模。可以说做好的3D数据就是一份生产指示书。本章就将介绍根据3D数据实际制造成品的步骤，其中主要介绍使用3D打印机输出的方式。另外还会介绍只要有上传到网上的数据就能制造出成品的各种成型服务。

第7章

# 7.1 使用3D打印机的成型过程

这节将介绍根据前面做出的3D数据使用3D打印机输出零件等成品的具体方法。虽然这里是基于123D Design制作的数据来输出的，但各种CAD软件的基本输出步骤都是相同的。所以只要掌握本章介绍的方法，无论使用什么CAD软件都可以通过相同的方法输出。而且这里介绍的内容不限定3D打印机的机型，即使用哪种3D打印机都是同样的步骤。

图 ■ 使用3D打印机的成型过程




## 7.1.1 步骤1 准备用于成型的数据（STL文件）

成型步骤的第一阶段是准备发送给3D打印机的数据，通常有如下几种做法。

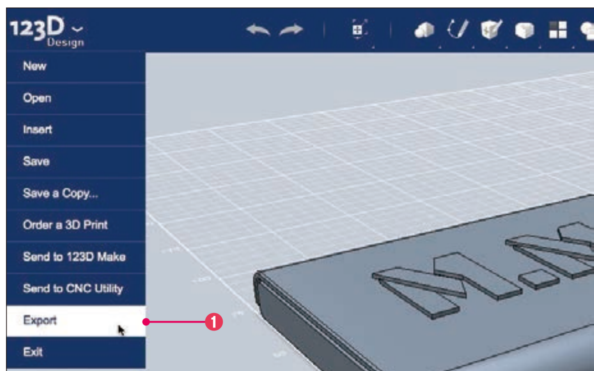
- 使用3D CAD制作数据（本书中介绍的方法）
- 用3D CG建模制作3D数据（卡通形象等）
- 手工制作原型，用3D扫描（参见本书4.1节最后专栏的内容）将其转化为数据

### 输出STL文件

使用123D Design可以轻松输出STL文件。操作步骤如下。

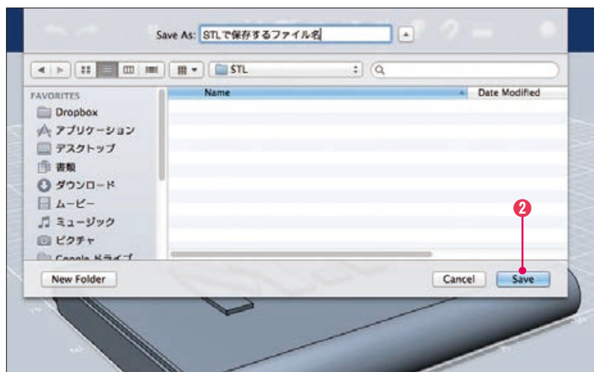
## 步骤 1

打开要输出的文件，点击 [Export] ❶。



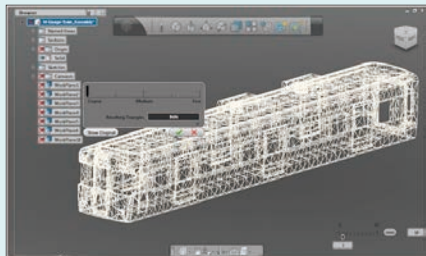

## 步骤 2

文件自动以 STL 为扩展名保存❷。




提示

使用 123D Design 无法直观确认 STL 文件的内容，输出的 STL 文件实际上是右图中的样子。虽然 STL 的网眼比较粗糙，但仍可以看出其整体上是由三角形小单元组成的。



## 7.1.2 步骤 2 STL 文件的质量确认和修改

按照上述步骤保存后并没有完成 STL 文件。STL 文件类似于 CG 中使用的多边型文件，是由若干三角形单元组成的。这些单元群在构成零件的形状时需要覆盖形状的整体，如果有存在没有闭合（开孔）的地方则形状的厚度为 0，也就是说变成了类似于本书第 2 章所介绍的面方式（参见本书 2.1.2-3 的内容），这样就会出现形状在物理上不成立的错误。

这种错误虽然很少出现在使用 123D Design 这类实体建模方式制成的数据中，但如果存在非常细小的形状、或某些极端形状时也是有可能会出现的。

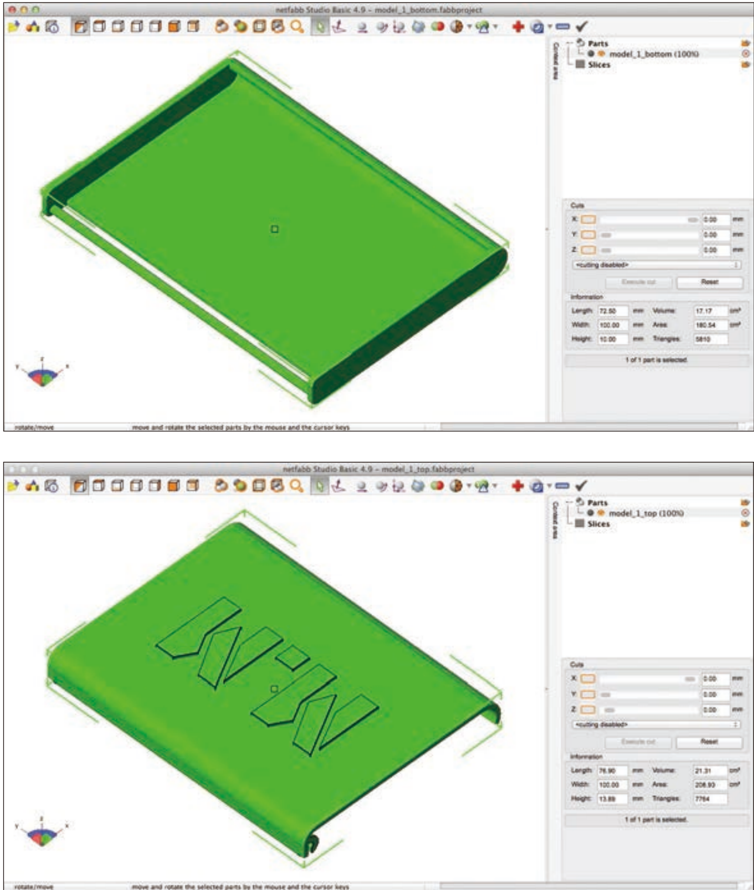
另外，三角形的单元是有表里之分的，在保存为 STL 格式的文件时会出现部分单元表

里相反的问题。虽然对于一些 3D 打印机的处理器来说这种表里相反的问题不会造成什么影响，但这里将这种情况也算作错误的一种。

如果出现这些错误，即使把 STL 文件传给 3D 打印机预处理器也无法完成成型过程，所以必须要对错误进行修改。

我们来使用一个叫做 netfabb 的软件，检查一下这次制作的名片盒。

图 ■ netfabb 中的显示实例



名片盒的盒盖和底盒部分都没有出错，数据没有问题，可以把这个 STL 文件发送到打印机进行打印输出。

虽然这个名片盒没有特别的问题，但如果出问题的话就需要修改。123D 等 3D CAD 软件没有修改 STL 文件的功能，这点稍有遗憾。所以如果要修改，就需要使用专门用于检查和修改 STL 文件的其他软件。

## 用于检查STL文件的软件

检查和修改 STL 文件需要专门的软件，特别是在 STL 文件出错时无法使用 3D CAD 直接编辑的情况下。因为检查和修改是必要的流程之一，所以在这里介绍几个相关的软件。

### MiniMagics（Materialise 公司）

MiniMagics 是用于检查 STL 文件的软件，而且可以说是这方面最常用的软件。使用 30 天以上需要注册，注册后可以继续免费使用。前面介绍的多边形单元表里相反（反转的三角形）或形状的边未闭合（没有与其他边连通的边）等错误通过该软件都可以明显地标注出来。

这个软件虽然可以显示出错的地方但无法修改。修改时需要另外购买叫做 Magics 的收费软件。

图 MiniMagics




URL http://www.materialise.co.jp/MiniMagics3.0J ①

● Magics

URL www.materialise.co.jp/materialise/view/ja/2408555-Magics.html

### MoNoGon（Qua Touch 公司）

MoNoGon 是一款比较好用的日本制软件。软件中将出错的地方和需要修改的地方都明显标注出来了，非常便于操作。同样，这个软件确认错误是免费的，修改并保存是收费的。使用一年的许可证需花费 100 000 日元（约合人民币 6 000 元），三个月的许可证需花费 29 800 日元（约合人民币 1 800 元）。另外，该软件还为偶尔使用的人准备了单日许可证（购买 24 小时内 800 日元，约合人民币 48 元），因此用户可以先下载软件确认错误，明确修改方法后再买许可证修改，这种方式非常适合爱好者和临时用户使用。

① 原书网址已失效，此处为 MiniMagics 3.0 的链接。——译者注

图 ■ MoNoGon

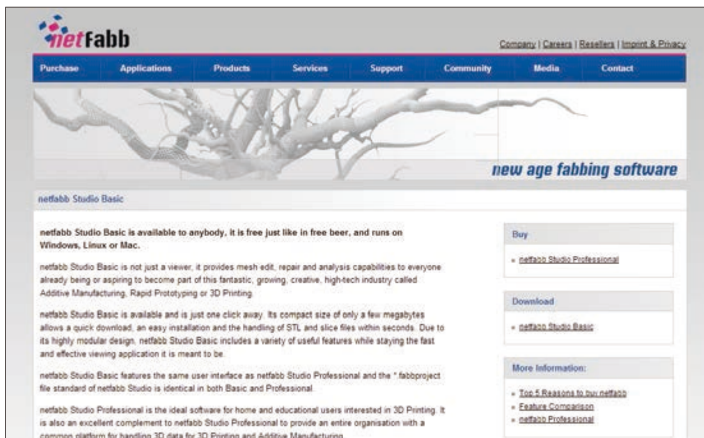



URL www.quatouch.com/products/monogon.html

〔netfabb（netfabb 公司）〕

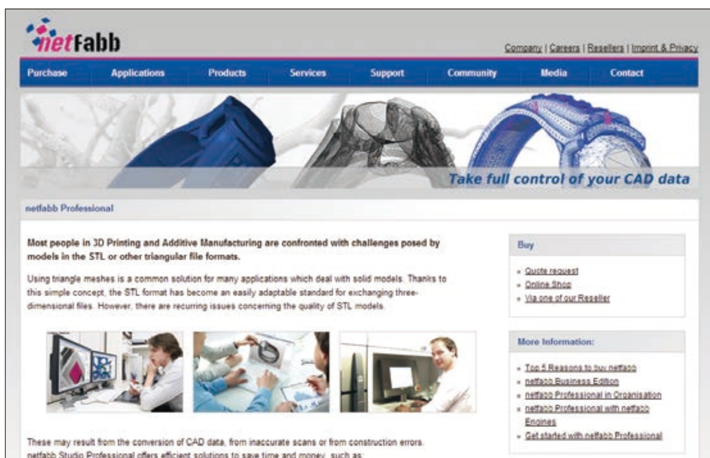
netfabb 有免费的 netfabb Studio Basic 和收费的 netfabb Professional 两种版本。Basic 版也可以修改 STL 文件（功能受限）。Professional 版除了具备更强大的修改功能外还具备导入 CAD 数据等多种功能。Professional 版的价格不到 700 欧元（约合人民币 6 000 元），对于个人用户来说也不算太贵。另外，同类功能软件中只有 netfabb 具备 Mac 版。

图 ■ netfabb Studio Basic




URL www.netfabb.com/basic.php

图 ■ netfabb Professional




URL www.netfabb.com/professional.php

## 〔Rapidform XOM（3D Systems 公司）[①]〕

Rapidform XOM 是 3D Systems 公司发布的免费软件，具备 STL 文件等的网格修改功能。除此之外这个软件还具备从 3D 扫描仪读取数据并制成网格等其他功能，比较适合对这些相关功能感兴趣的人。

图 ■ Rapidform XOM




URL www.rapidform.com/ja/products-3/rapidform-xom/

> 提示
> 关于 STL 文件出错时的具体修改方法，请参考本书 7.1 节末尾技术要点中介绍的实例。

① Rapidform XOM 已于 2013 年 12 月底停止使用（参考 http://www.rapidform.com/xom-media-panel/），由于公司收购、产品线整合等原因目前最新的检测软件名为 Geomagic Verify，可进入下面的网址了解该软件详细内容。http://www.rapidform.com/zh-hans/products-4/xov/overview/——译者注

## 7.1.3 步骤3 使用 3D 打印机成型

STL 文件的所有问题都解决后，就可以将 STL 文件发送给 3D 打印机的预处理软件。这类软件基本上都是各 3D 打印机专用的。

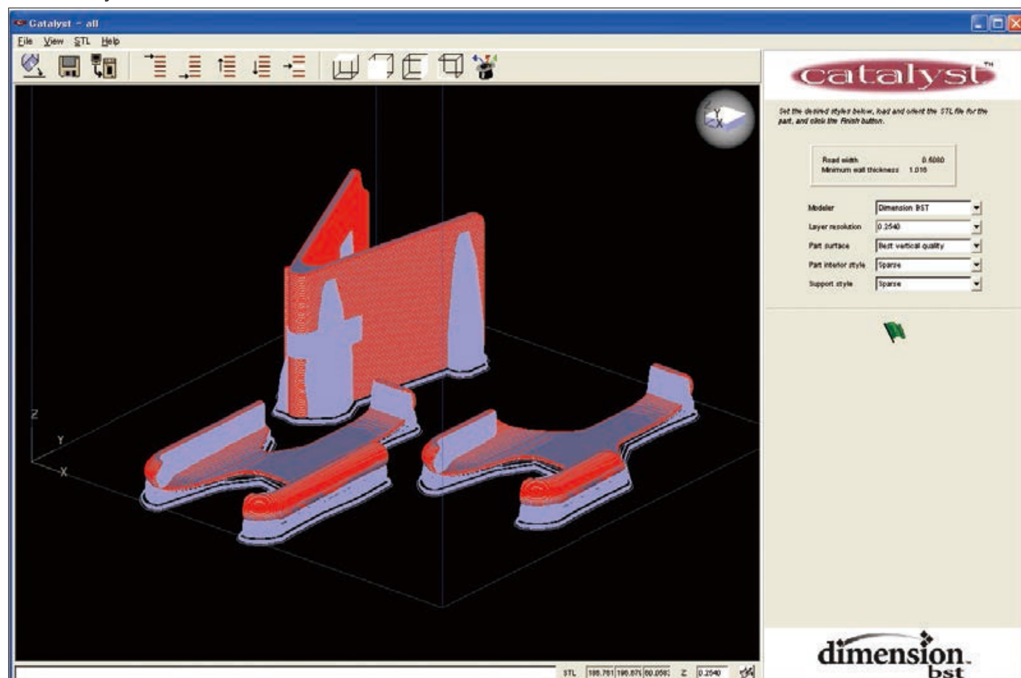
表 ■ 3D 打印机的机型和配套软件示例

| 3D 打印机的机型 | 配套软件 |
|---|---|
| uPrint<br>dimension | Catalyst |
| Objet | Objet Studio |
| Replicator2 | MakerWare |

下图为 Stratasys 公司的 3D 打印机 dimension 配套的软件 catalyst。这个软件将读取的数据摆放于被称为 work 的工作台上。其他系统也都配套类似的软件（各软件的细节用法各有不同）。

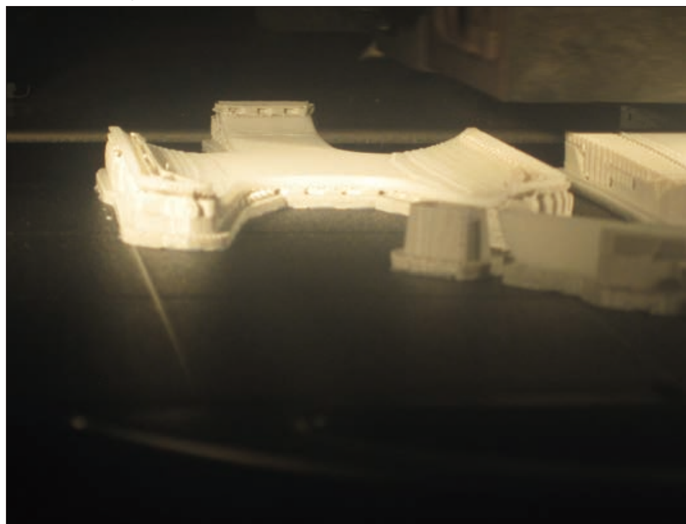
下图中显示为红色的部分是零件部分，蓝色的是支撑材料部分（关于支撑材料，可以参见本小节末尾专栏中的内容）。

图 ■ catalyst



准备好以后就可以按下开关就开始成型了。进入成型阶段后没有什么可操作的，只需耐心等待即可。

图 ■ 由 catalyst 摆放位置后实际成型过程中的照片



成型后取出完成品。

图 ■ 完成品（输出完成时的形状）



对于 dimension 或 uPrint，可以如照片所示将叫做 work 的工作台与完成品一同取出，取出后再将附着在 work 上的完成品剥离下来，可以通过将 work 板扭一下或弯一下，或是用金属刮刀取下来。对于这个模型来说，支撑材料可以用手或镊子清除掉。

不过，也有 dimension 或 uPrint 输出模型的支撑材料需要使用碱性溶液来清除。

各厂家使用不同的支撑材料。如果是支柱状的支撑材料，可以用工具切除，切除后的痕迹也可以处理得很漂亮。如果是水溶性的支撑材料，则可以在水中浸泡一段时间或是用水冲掉。一些蜡质的支撑材料可以用烤箱加热融化去除。

完成后确认模型是否体现了设计意图以及各项功能是否完全实现了。

图 ■ 完成品（装配成产品的状态）





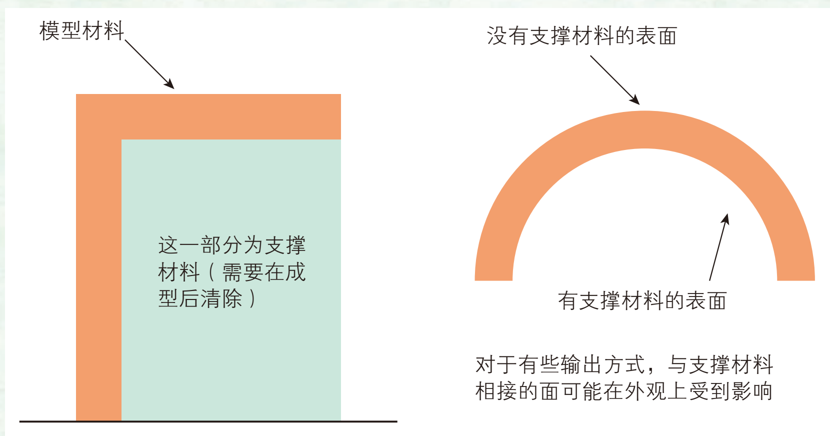

有些个人 3D 打印机可以不用支撑材料，如果使用这类机型就无需考虑清除支撑材料的问题。

专栏

## 模型的形状与支撑材料的关系

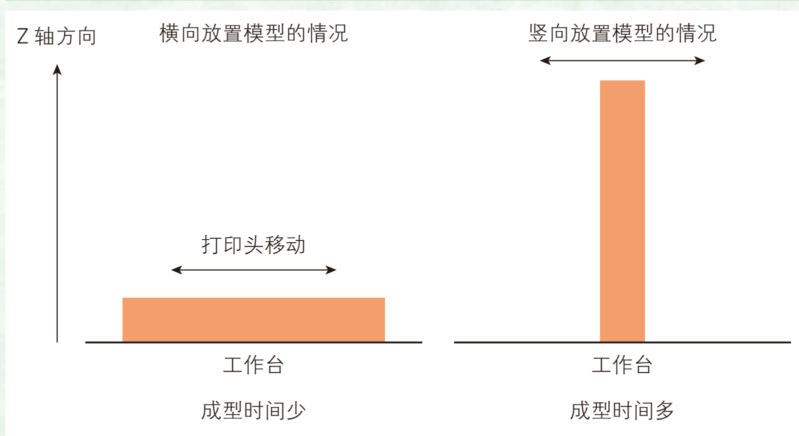
如下图所示，3D 打印机对于屋檐那种上方覆盖而下方没有填充的结构（悬空突出），需要先在下方成型用于支撑的部分（否则材料在完全固化前会发生下垂现象）。我们将这种用途的材料称为支撑材料，支撑材料会在成型后被清除掉，清除方法如上文所述，根据机型和支撑材料的选择而有所不同。

图 ■ 模型的形状与支撑材料的关系



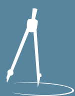

对于 3D 打印机来说，成品的高度越高则成型时间越长，所以在设计模型的摆放位置时要尽量控制高度（例如扁平的东西就尽量平躺放置），这样可以减少成型所需的时间。

图 ■ 模型的高度和成型时间的关系




当然对于一旦改变放置方向会就增加很多悬空突出、从而造成支撑材料增多的情况，也不一定要平躺放置。

建模时不用特意考虑这些问题，catalyst 等软件在输出之前会自动估算每个朝向所需的时间和材料用量，我们可以根据软件估算的结果来确定最终摆放位置。



技术要点

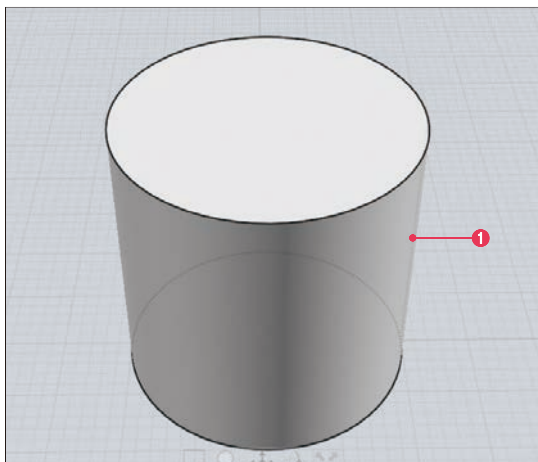
## 修改STL文件的流程

STL 文件出错时的修改方法，每种软件都各有不同，需要根据各软件的使用说明来进行修改。这里以笔者常用的 netfabb 软件为例简单说明实际的修改流程，以此作为出现问题时的参考对策。

### 步骤 1

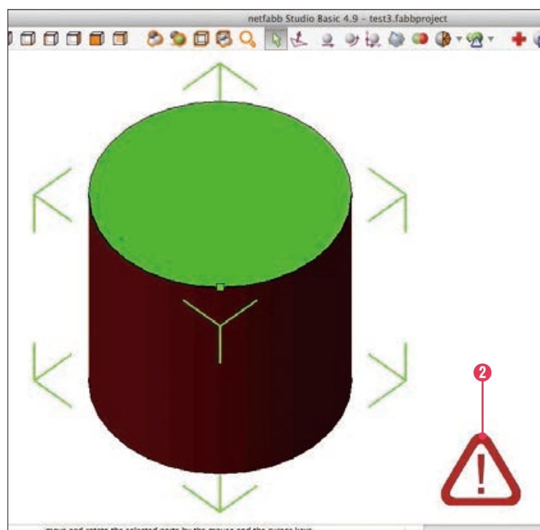
这里以右图中的形状为例进行介绍

这是从某个 CAD 软件输出的 STL 文件，虽然是很简单的圆柱体，但无法正常输出❶。实际上这个形状是由没有厚度的圆筒、没有厚度的顶板和没有厚度的底板三个面组成的。而且这三个面只是偶然在同一位置上，没有它们之间相互连接的信息，所以可以说这是一个没有实体的虚幻形态。



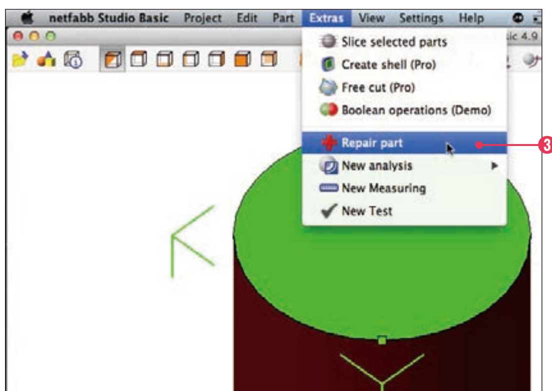

### 步骤 2

使用 netfabb 软件读取上述圆柱体的 3D 数据后如右图所示，在画面右下脚出现了“！”图标，这表示出错❷。



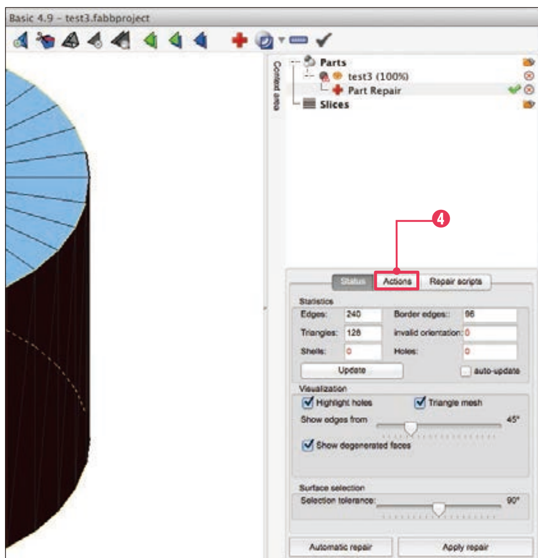
## 步骤 3

下面开始修改。先点击 [Extras] → [Repair part] ❸。




## 步骤 4

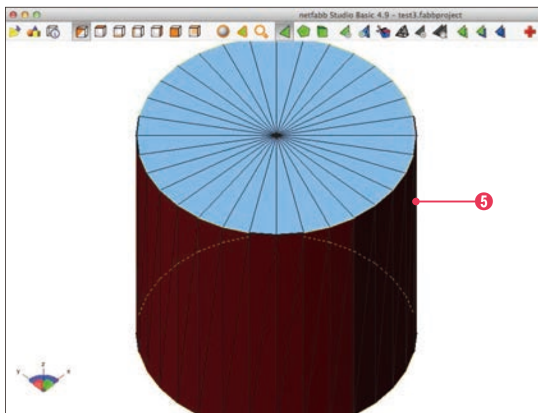
画面右侧的菜单切换为修改菜单。默认显示的是 3 个选项卡中最左侧的 [Status] 选项卡，我们要点击中间的 [Actions] ❹。




## 步骤 5

在这里确认具体错误。

需要仔细分辨图中的情况。红色显示的是三角形单元表里错误的部分。而在顶板、底板与侧板之间显示的黄线，表示这里没连在一起、有间隙的意思❺。



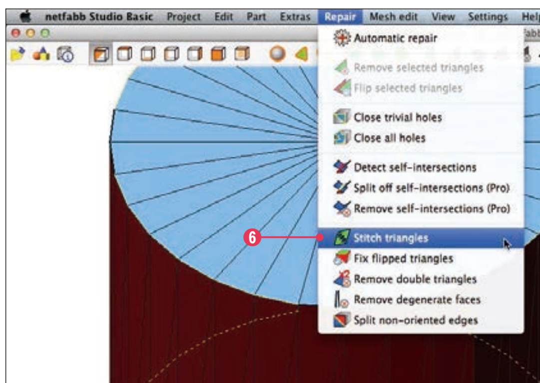
## 步骤 6

先来闭合顶板、底板和侧板之间的间隙。

选择 [Repair] → [Stitch triangles] ❻。Stitch 为缝合的意思。

但这样处理之后似乎还有间隙（孔），没能完全闭合（因为还显示着黄线）。

顺便说一句，右侧修改菜单里的选项有一些从 [Repair] 菜单也可以找到。

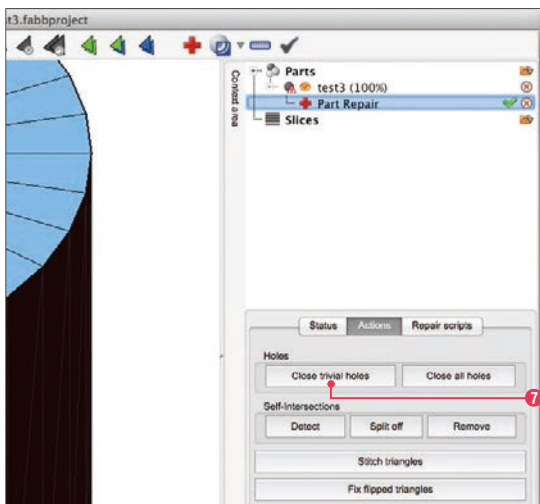



## 步骤 7

为了闭合这些孔，点击右侧菜单 [Holes] 中的 [Close trivial holes] 按钮❼。这是用于填补小孔的指令。

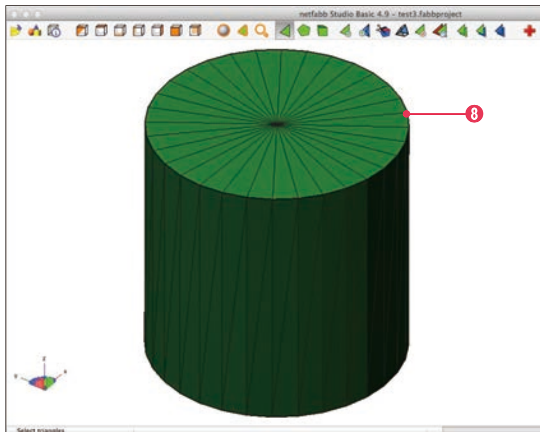
执行这个指令后黄线消失了，这样所有的边就都连接在一起了。

但还是有蓝色和红色部分的显示，也就是说这个形状还处于表里混乱的状况。



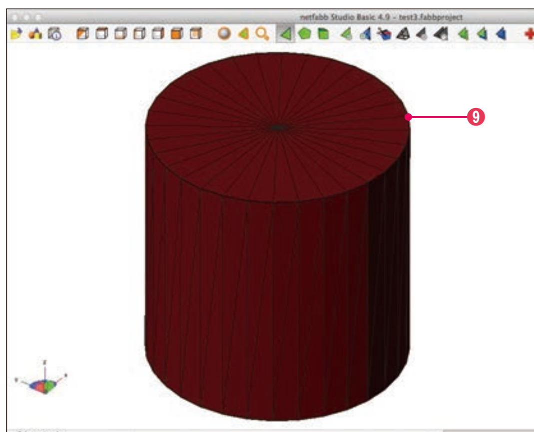

## 步骤 8

使用 [Select Negative Volume] 指令选择表里错误的三角形❽。选中所有三角形后会呈现右图中的状态。



## 步骤 9

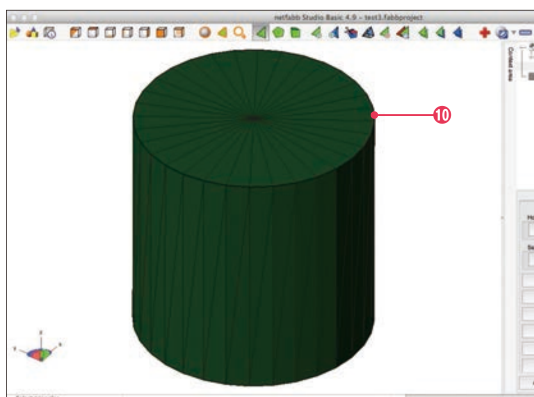
从菜单选择 [Repair] → [Fix flipped triangles]，虽然只想把表里错误的三角形翻转过来，但这里所有的三角形都变成反向的了❾。




## 步骤 10

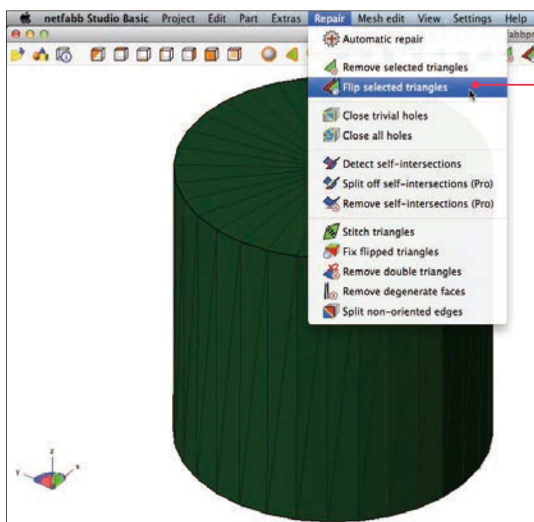
再次使用 [Select Negative Volume] 选择所有三角形。

这次再把所有的三角形都翻转过来应该就可以了❿。




## 步骤 11

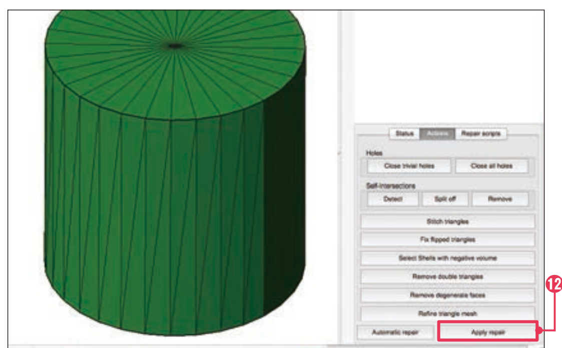
选择 [Repair] → [Flip selected triangles] ⓫，将已选择的三角形全部翻转。



## 步骤 12

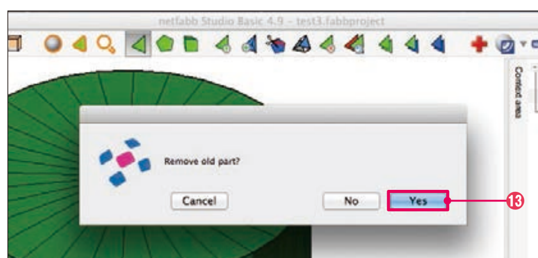
现在整体都是绿色的，这样就完成了修改。

最后点击位于右侧的菜单右下方的 Apply repair 按钮（应用修改）⑫。




## 步骤 13

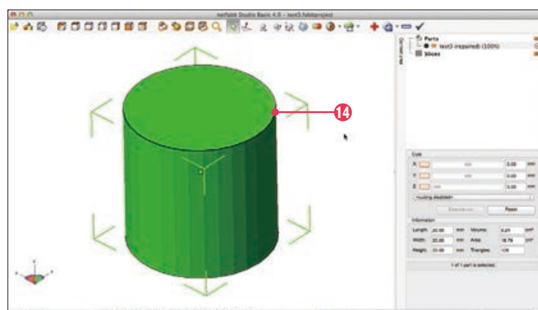
弹出对话框询问是否删除旧的零件，点击 [Yes] ⑬。




## 步骤 14

所有的单元都显示为绿色，而且没有“！”图标了⑭。

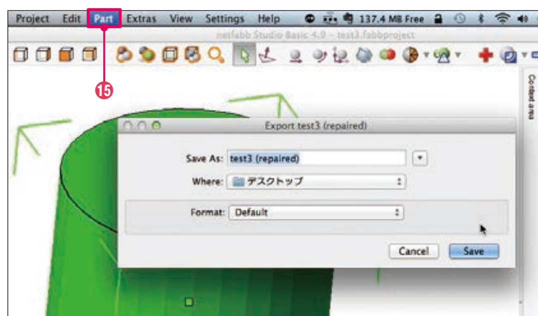
这时该形状已成为一个内部填满的实心圆柱体，这个状态下就可以使用 3D 打印机输出了。




## 步骤 15

选择 [Part] → [Export part] ⑮，给文件命名并保存 STL 文件。

这样就完成了修改作业。



第7章

# 7.2 充分利用成型服务

即使想要在家中制造产品，在一开始也很难把所有设备都准备齐全。除了制作 3D 数据的建模工具软件是必需的以外，没有必要在最初就把 3D 打印机等设备都买回来。

3D 打印机有很多种机型，根据可用的材料和成品的质量不同而有所区别。另外，有些产品适合使用非 3D 打印机设备或器械，而这些对于刚开始制造产品的人来说，还是比较难区分的。

这种情况下可以先考虑使用 3D 打印及其他制造设备的成型服务。本书介绍建模方法时使用的 123D Design 软件所提供的云服务就包括可以使用成型服务的功能。现阶段虽然其中还没有日本企业提供的服务[①]，但是这些服务都可接受国际订单，非常值得大家试一试。

## 7.2.1 与 Autodesk 123D 合作的成型服务

包括 123D Design 在内，Autodesk 公司 Autodesk 123D 系列的云服务中都包含了与以下成型服务合作的功能。具体的使用步骤之后还会详细介绍，这些服务基本上都是可以在 123D Design 直接上传数据、下订单的。而且数据上传等相关操作都由系统自动完成，可以说是非常方便的国际服务。如果没有什么咨询的问题也不需要特别的英语能力。如果是有信用卡或 PayPal 的账户，下单操作也由系统自动完成，非常方便。

### shapeways

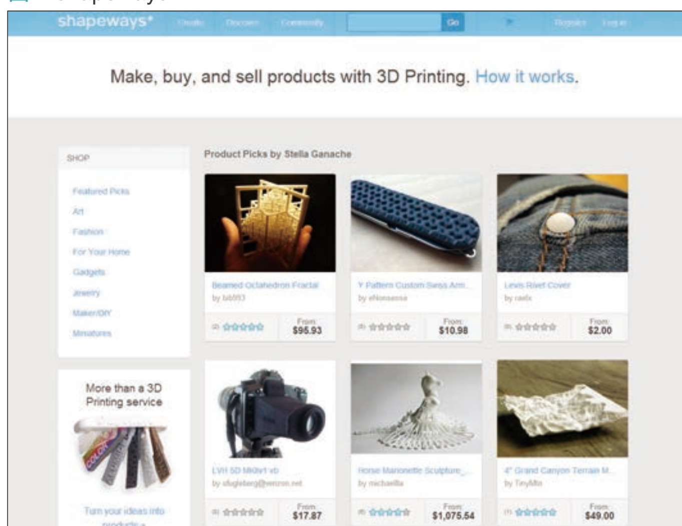
shapeways 是全世界规模最大的 3D 打印成型服务商之一。可以支持多种输出材料，例如可以使用以下材料。

- 尼龙类树脂 / 丙烯酸类树脂 / 半透明丙烯酸类树脂
- 陶瓷
- 不锈钢
- 纯银
- 着色石膏模型等

而且该公司的网站还提供了直接销售自制产品的服务。如果自己的产品是只用 3D 打印就可以完成，并且品质达到了可销售水平的饰品或模型等，使用这个平台就可以直接进行销售。访问 shapeways 的网站就会看到，很多个人制造商都在这里销售产品。

① 目前也没有中国企业提供的服务。——译者注

图 shapeways

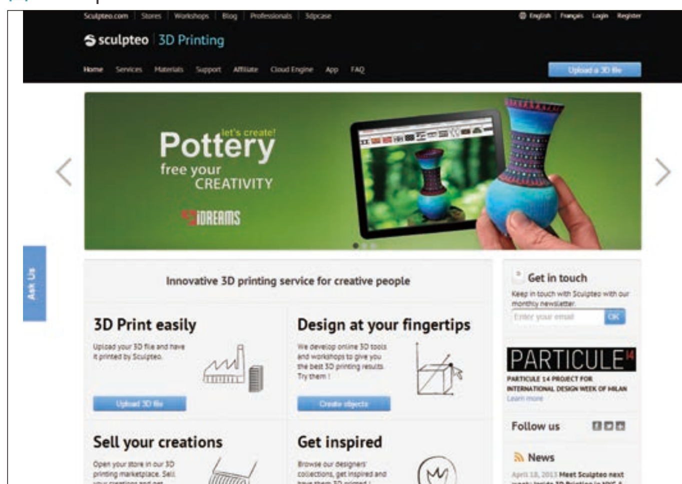



URL www.shapeways.com/

## sculpteo

sculpteo 是法国公司提供的成型服务。输出材料的可选规模与 shapeways 基本相同，而且还提供了可以建模原创定制方案的 iPhone/iPad 应用。

图 sculpteo




URL www.sculpteo.com/en/

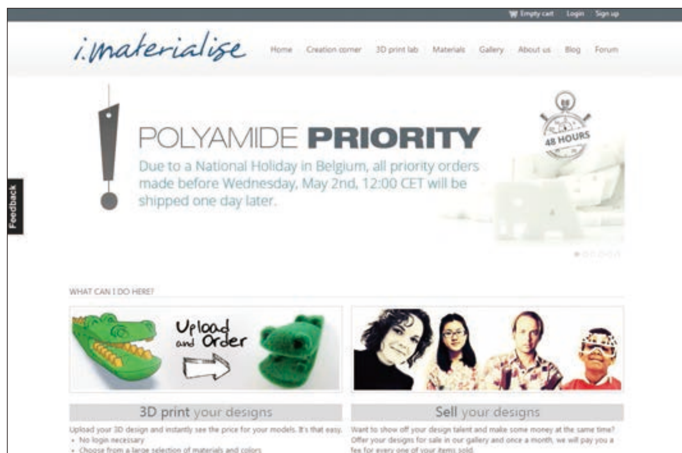
这个网站也可以在网店里销售自己设计的产品，除此之外还提供网络联盟销售等服务，其开展的活动已经超越了单纯的 3D 打印范畴。

## i.materialise

i.materialise 是比利时 Materialise 公司提供的成型服务，前面曾介绍过该公司提供的

MimiMagics 软件（参见本书 7.1.2 节的内容）。该服务树脂类材料的可选规模与上面介绍的 shapeways 和 sculpteo 都差不多，但提供的金属种类繁多，包括金等使用脱蜡铸造工艺（参见下面的提示）成型的金属，以及钛等使用熔附方法的金属等等。另外这个网站也可以通过叫做 gallery 的网络商城销售自己的作品。

图 i.materialise




URL i.materialise.com/

提示

脱蜡铸造工艺是指使用蜡制作与产品相同的形状（模型），在周围用铸砂覆盖加固，之后熔化去除蜡，并在空腔内注入金属而铸造产品的方法。这里的服务是指使用 3D 打印机打印蜡的原型。

## 7.2.2 使用成型服务的流程

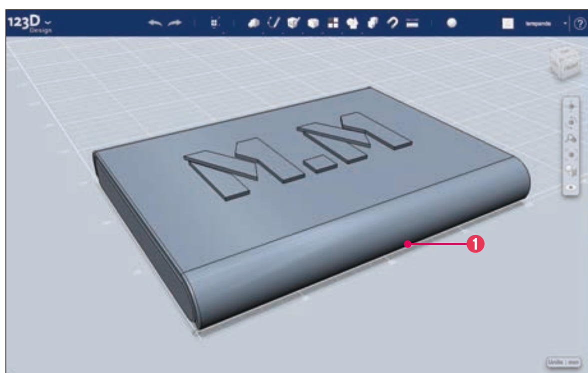
下面具体介绍使用成型服务的流程。这里分两种情况介绍：一种是利用 123D Design 的云端服务直接发送数据的方法，另一种是先在自己的电脑上保存 STL 文件再发送数据的方法。

### 使用 123D Design 直接委托成型服务的方法

首先介绍从 Autodesk 123D 向成型服务提交数据的流程。这种方法可以从 123D Design 直接发送数据。

## 步骤 1

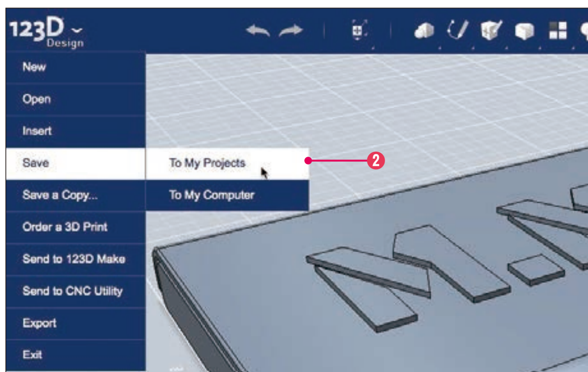
准备好已经完成的模型❶。完全删除没有用的虚设实体。



## 步骤 2

从 123D Design 向 shapeways 直接下单时，需要先在 Autodesk 123D 的云端上保存数据。

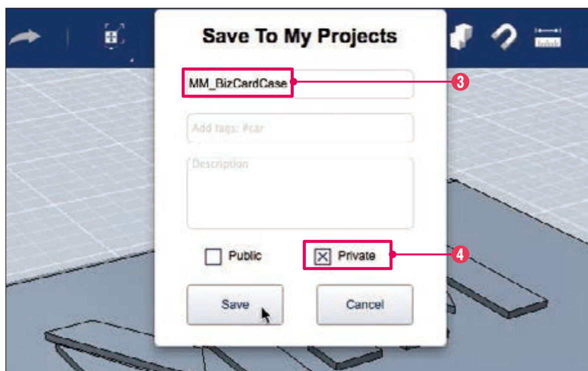
点击 [Save] 菜单→ [To My Projects] ❷。




## 步骤 3

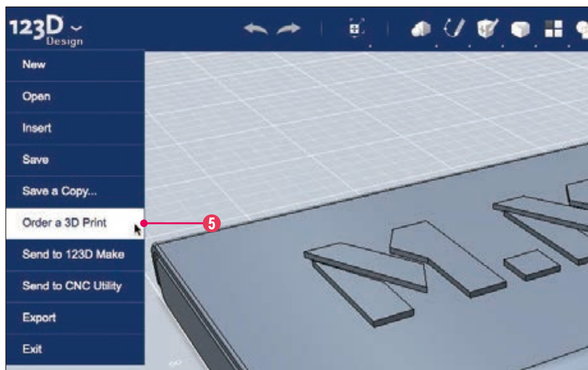
给模型命名❸，可以使用与本地文件相同的文件名。

这里 Public 状态被默认选中，如果不取消选中状态则其他 Autodesk 123D 的用户也可以看到该文件，所以如果不希望共享自己的文件，需要改选 Private 项❹，并点击 [Save] 按钮。




## 步骤 4

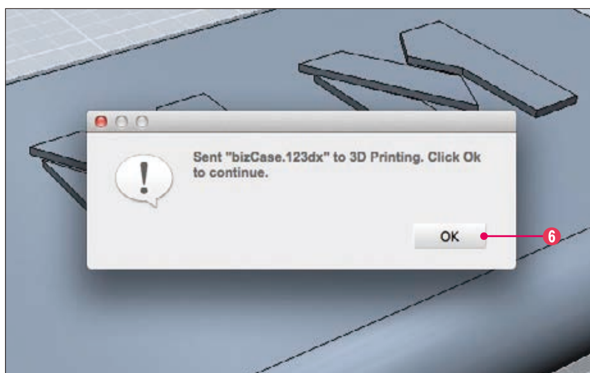
保存后点击 [Order a 3D Print] 菜单❺。



## 步骤 5

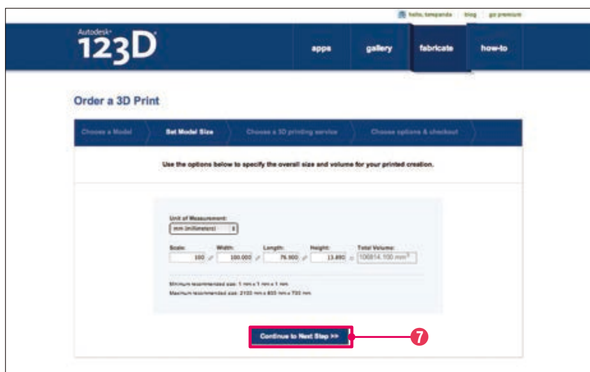
这时数据开始传送给服务，需要稍等一会儿。

数据传送结束后会弹出对话框通知，点击 [OK] 按钮❻。




## 步骤 6

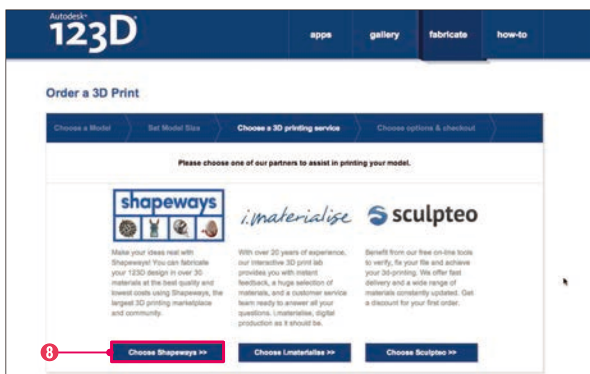
在 Autodesk 123D 的网页上显示了已传送的 3D 模型尺寸和体积，点击 [Continue to Next Step] 按钮❼。




提示 shapeways 根据材料的不同，最大可以输出 2100mm × 800mm × 700mm 的物品，所以如果预算允许，本书建模的靠背椅也可以输出（参见本书 6.1 节）。

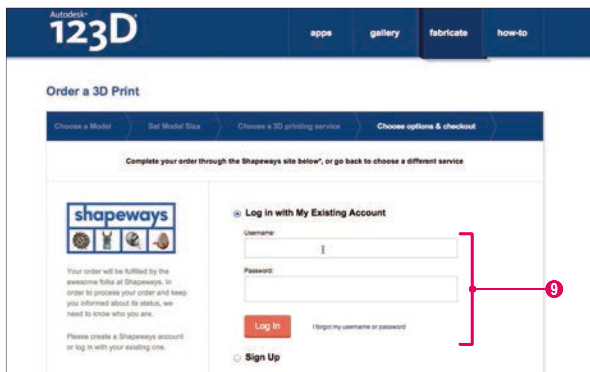
## 步骤 7

网页上显示了合作服务，可以任选一项，这里选择了 shapeways ❽。




## 步骤 8

在显示的登录画面中输入自己的账户完成登录❾。



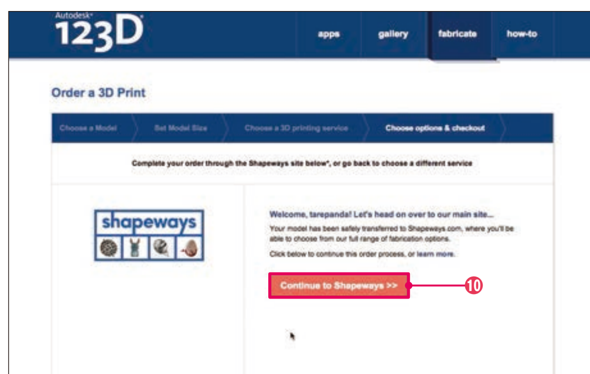

提示 无论选用哪个成型服务都需要另外登录，所以需要预先注册好账号。

第7章 将3D数据制造成实物的方法

## 步骤 9

登录后会显示 [Contonue to Shapeways] 按钮，点击这个按钮⑩。

之后就进入 shapeways 来操作了。




## 步骤 10

这里可以看到文件已经上传到了 shapeways，显示为可以下单的状态⑪。

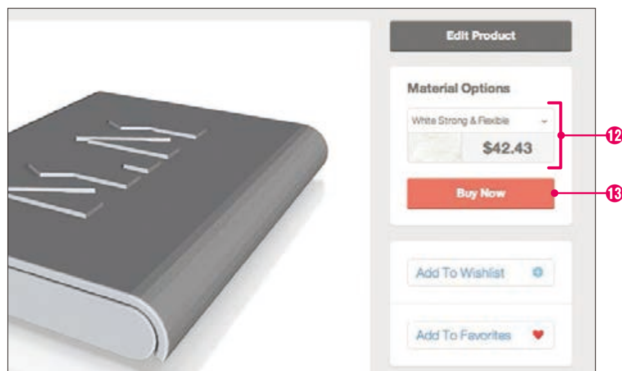



## 步骤 11

在下单时可以马上知道价格⑫，这里显示的是使用 White Strong & Flexible 材料的价格。

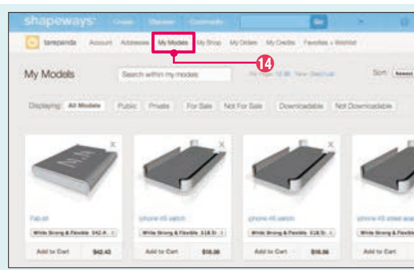
点击 [Buy Now] 按钮即可完成下单⑬。从下单到产品送到手上大概需要 2 周左右的时间。

实际上，根据所选材料和处理方式及下单数量的不同，需要的时间也有所不同，所以要在下单时确认具体所需时间。




提示

在 shapeways 的网站上点击 [My Models] 按钮⑭可以确认自己过去上传的模型，在这里也可以变更材料并看到使用各种材料的不同价格。





## 成型服务可用的各种材料

专栏

几乎所有的成型服务在下单时都可以选择各种材料，可以根据需要选择合适的材料也正是使用成型服务的优势之一。所选的材料不同则可输出产品的大小、设计方面的要求、价格、交货期等事项也会有所不同，一定要在下单前确认这些事项。

下图为 shapewaye 可以指定的材料示例，从最上方的 Create 菜单选择 Material，即显示出材料列表页。

图 shapeways 中可以指定的材料

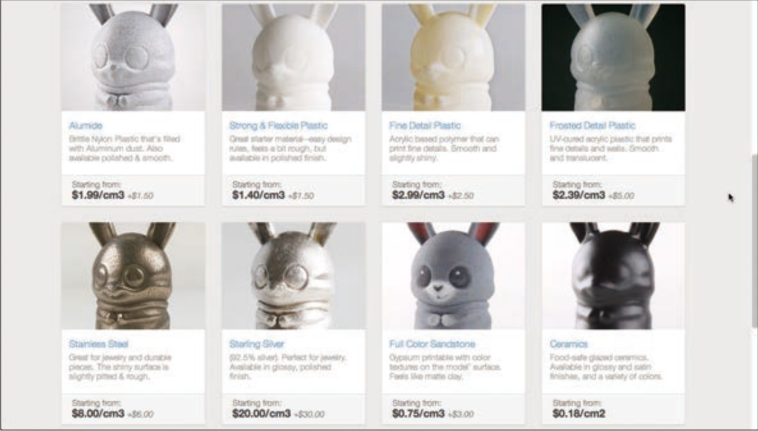


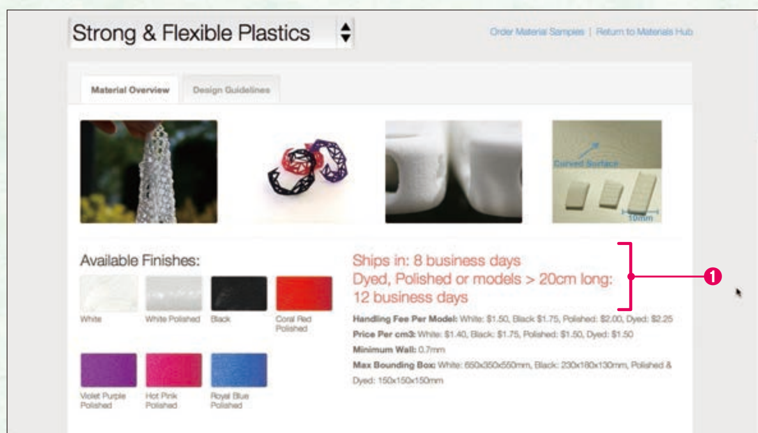

表 材料的种类（从左至右）

| 材料 | 说明 |
|---|---|
| Alumide | 铝和尼龙树脂的混合物 |
| Strong & Flexible Plastic | 高强度并具柔软性的树脂，尼龙树脂 |
| Fine Detail Plastic | 可以体现精细形态的树脂，光敏丙烯酸树脂 |
| Frosted Detail Plastic | 半透明树脂，半透明的光敏丙烯酸树脂 |
| Stainless Steel | 不锈钢 |
| Sterling Silver | 纯银（纯度 92.5%） |
| Full Color Sandstone | 石膏粉末 |
| Ceramics | 陶瓷 |

### 各种材料的详细信息

点击想要使用的材料则会显示该材料的详细信息。

图 ■ 材料的详细信息




上图为选择了 Strong & Flexible Plastics 后的具体实例。可以看到除了白色以外还有其他的颜色备选。

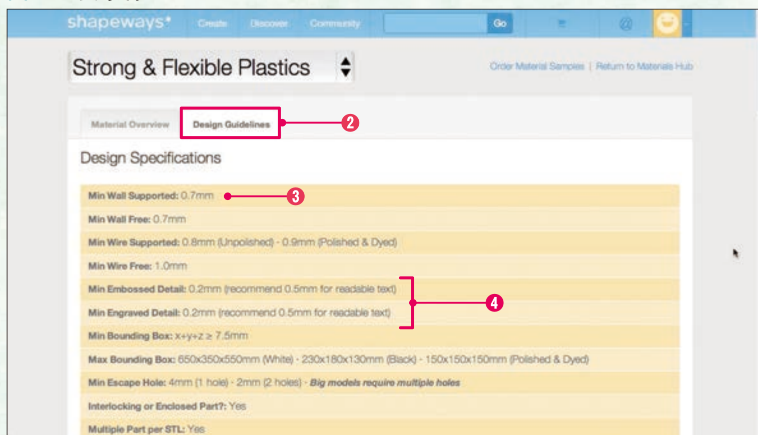
由于选择这种材料时的成型方法是使用激光烧结粉末状的树脂原材料，所以成品表面会呈现附有粉末且稍显粗糙的状态，如果需要表面比较光滑的效果，可以在这里指定抛光选项。

在这里还可以确认从下单到出货所需要的时间。对于上述产品来说，通常需要 8 天，而如果指定了抛光效果或产品的长度在 20cm 以上则需要 12 天❶（这个天数是指最长时间，所以也可能会比这个时间早一些出货）。

## 制作所需的最低条件

在画面上点击 [Design Guidelines] 选项卡❷后可以确认制作所需的相关信息，也就是说不满足这些条件的话就无法完成制作。

图 ■ 必要条件



如上图所示，在这里可以确认产品最小厚度及最精细形状的大小、最大限定外框（刚好可以放下制作物体的长方体范围）的大小等。例如对于选用现在这种材料的情况，厚度最低需要 0.7mm ❸，因此如果模型上有低于这个厚度的情况则无法输出❹。在下单时需要注意这些事项。

### 选择正确的材料

shapeways 提供了可以根据模型的体积、面积、最小厚度尺寸等信息匹配可用材料的功能❺，首次下单时可以充分借助这个功能。

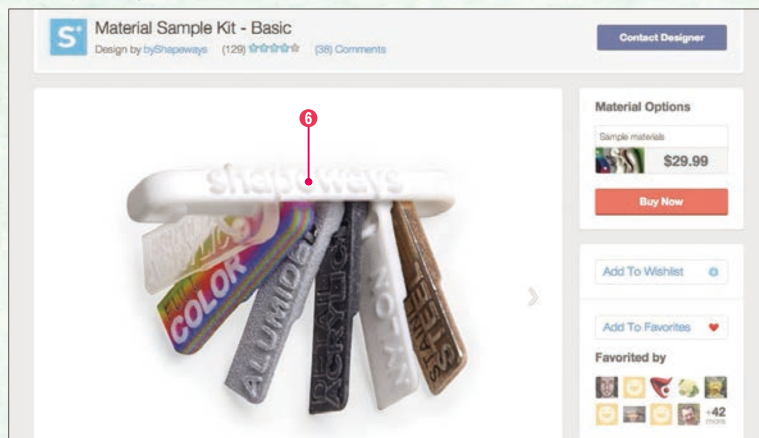
图 ■ 确认可选材料



### 购买小样

材料这种东西如果不实际拿在手上是没有办法充分了解的，而 shapeways 同时销售可使用材料的小样，所以客户可以根据需要购买❻。

图 ■ 购买小样



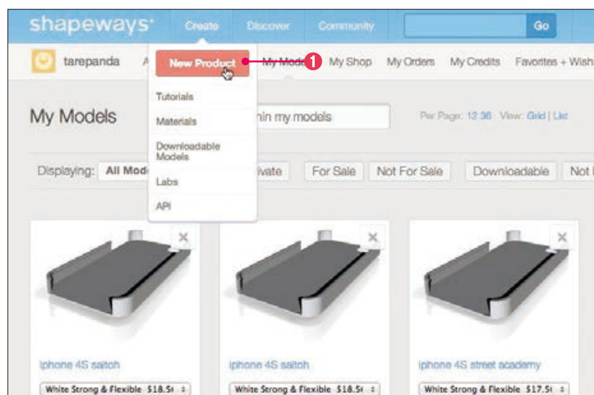
## 7.2.3　保存 STL 文件后上传的方法

除了通过 123D Design 的云端服务来委托成型服务外，还可以将保存在自己电脑上的 STL 文件直接上传到成型服务的网站上来委托成型。如果使用这个方法，无论使用何种 3D 建模工具都可以委托成型服务。

这里姑且认为已经保存了没有问题的 STL 文件，仅介绍将 STL 文件从自己的电脑上传至 shapeways 的方法。

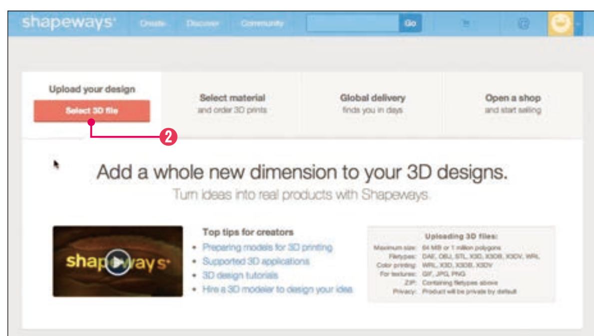
### 步骤 1

登录 shapeways 后，点击网页最上方 [Create] 菜单中的 [New Product] ❶。




### 步骤 2

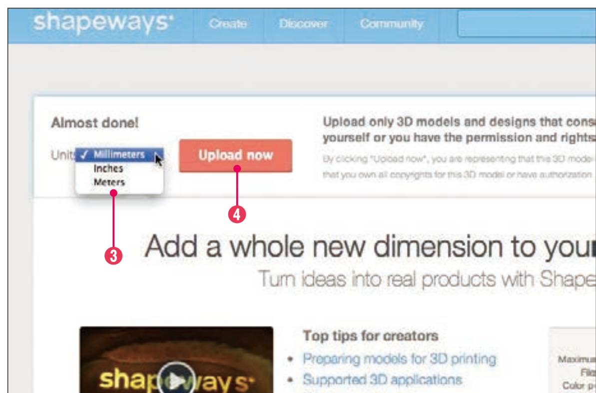
点击 [Select 3D file] 按钮❷，在显示出来的选择画面中选择目标 STL 文件。




### 步骤 3

确认了使用单位以后❸，点击 [Upload now] 按钮❹，开始上传文件。

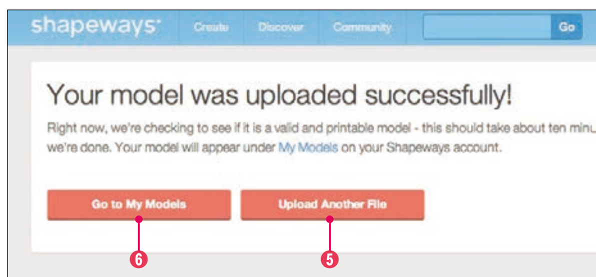
根据文件大小的不同上传所用的时间也不同，但最多等待几分钟就可以完成了。



## 步骤 4

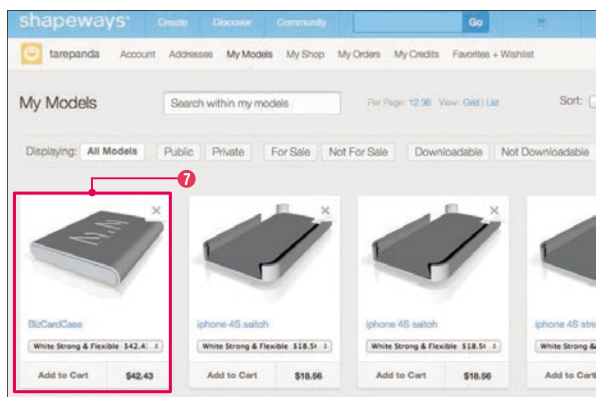
完成上传后会显示如右图所示的信息。

如果还有其他需要上传的文件则点击 [Upload Another File] 按钮❺，如果没有则点击 [Go To My Models] 按钮❻。



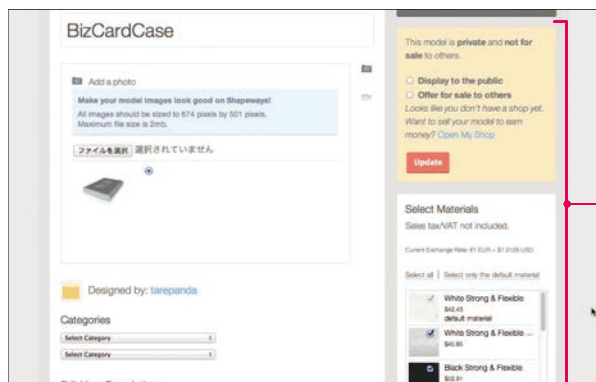

## 步骤 5

点击后就会显示完成上传的数据❼，请选择需要制作的产品。不过，有时数据上传后需要过几分钟才能显示出来，所以如果已经完成上传但没有显示数据的话请再稍等片刻。



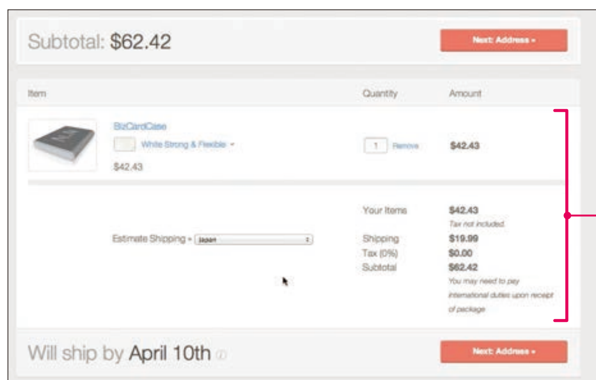

## 步骤 6

点击 [Edit] 按钮后可以编辑可选的材料及在商店销售时所用的分类信息等❽。




## 步骤 7

指定了各事项后会按照所指定内容显示相应的价格（含运费）及可发货日期。如果确认没有问题了即可输入收货地址和支付信息完成订单❾。如果有 PayPal 的账户则不需要输入信用卡的信息。



### 7.2.4 从下单到产品送达

shapeways 使用 UPS 国际快递送货。产品从 shapeways 发出时会有通知邮件，邮件中有相应的查询单号和查询网址，可以随时确认货物的运送情况。产品外面会用非常厚的缓冲材料包裹，缓冲材料里边则如下图所示，只是简单使用密封袋包装产品本身。

图 Shapeways 发来的产品

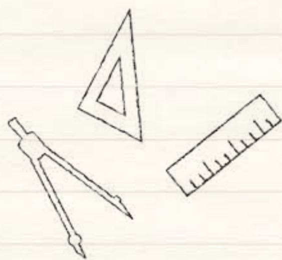





下图为委托 shapeways 输出的本书第 4 章中建模的马克杯，可以看到成品与所做数据相同。

图 委托 shapeways 输出的马克杯





# 第8章

# 打造真正的个人制造商
## ——从商品制造到销售的整体流程

看了之前的介绍，你可能也会觉得自己在家中制造产品的门槛并不是很高，也不需要什么特别的专业技能。也许正是因为科技的进步和服务的多元化为我们带来了轻松实现梦想的机会，希望大家都可以把自己的创意变成现实的作品。

然而，不得不承认如果仅靠3D打印机制造产品，与目前制造业中主流的专业产品制造之间还是存在本质差别的。因此，本章将针对成为真正的个人制造商所应具备的知识体系及销售产品时的注意事项进行简单介绍。

第8章

# 8.1 各种制造方法和加工设备

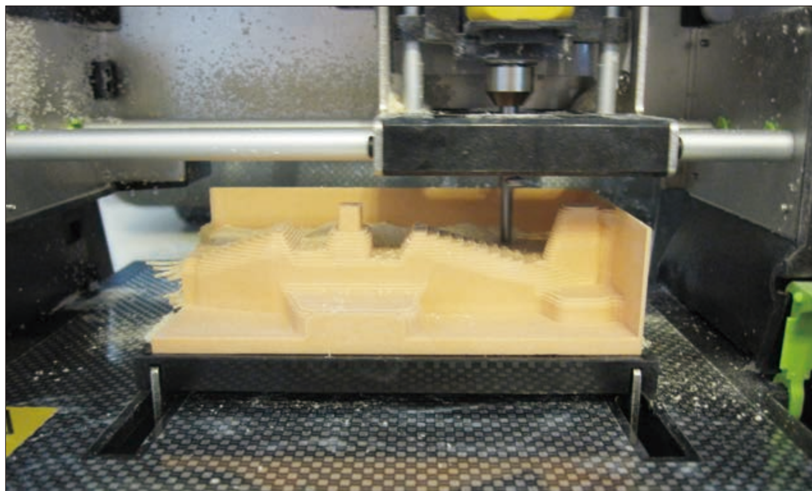
3D 打印机作为引领时代革新的事物备受瞩目，但除此之外还有很多制造产品的方法。如果只是出于个人兴趣或试制的目的，只有 3D 打印机可能就足矣，但如果想要成为真正的个人制造商，就还需要掌握各种制造方法及每种方法的特征和优缺点等。根据产品的种类和形状，其最适宜的制造方法有所不同，选用材料也会随之发生变化。

下面结合个人也可以使用的设备和服务，简要介绍一下各种制造方法。

## 8.1.1 切削加工

切削加工是指使用刀具切削块状原料来制成产品的制造方法，这是现代产品制造中最常见的方法之一，也是非常传统的制造方法，例如我们在业余时间有时会用凿子或刨子做木工活，或是用雕刻刀刻些东西，这些也可以算是切削加工。现在市面上有很多种刀具，可以满足各种需要，无论是木材还是金属、树脂等，任何材料都可以加工。

图 切削加工示例（台式切削加工机 iModela，Roland DG 公司）



在制造业中有很多种设备用来实现切削加工。传统的有钻孔机、车床、铣床等，而近年来被称为“加工中心”（machining center）的高效率机床也逐渐被广泛使用。

切削加工与3D打印机不同，需要一定的设备使用技能和经验，而且以往这些设备通常比较大，个人不太可能直接购买。不过，近年来也出现了一些价格和大小都比较适合个人购买的机型，而且还有一些面向个人提供的切削加工服务，所以个人也可以借助这些服务以切削加工的方法制造自己的产品。

下面介绍一些在日本比较容易购买的设备及可利用的主要服务[①]。

专栏



### 加工中心

加工中心就是装有刀库（配有各种刀具的刀库）的加工设备，具有自动换刀的功能，可以由一台设备完成铣、销、钻等多种加工。而且该设备可以通过CNC（数控机床）自动控制切削工具的移动轨迹和进给速度，因此十分适用于工序大量重复、现代产品制造中加工的形状较为复杂等情况。

## 个人可以使用的切削加工机

专业的切削加工机比较大且价格较高，个人不太可能在家中购置。但近年来出现了下面介绍的几款消费级用户也可以选配的小型切削加工机。

### Roland DG公司的MDX系列

Roland DG公司销售的是切削PR机MODELA系列。这个系列有各种大小的产品，既有大型的MDX-540型，也有MDX-20/15这种可以放在桌上的小型切削加工机。其中MDX-15的定价不超过30万日元（约合人民币1.8万元），可以说是想要从事专业加工的个人也可以负担起的价位。

另外，MDX系列还配有叫做MODELA Player的简易CAM软件，因此本书介绍的能用123D Design输出的STL文件也可用来在MDX-15上加工。

① 中国也有一些销售相关设备和提供相应服务的机构，读者如果有兴趣可以上网搜索相关内容。译者体验的是叁迪网的相关服务，具体情况可参考本书最后的“译者实践”部分。——译者注

图 ▪▪ MDX-20/15




URL www.rolanddg.co.jp/product/3d/3d/mdx-20_15.htm

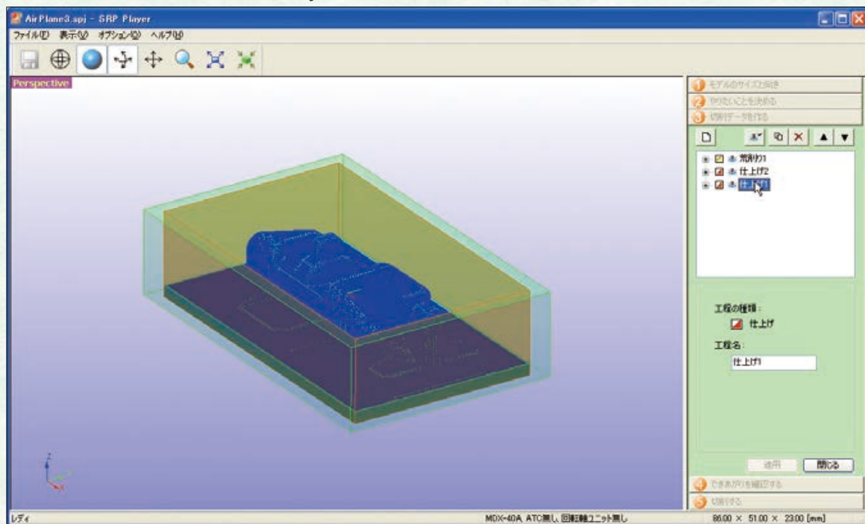
专栏



## CAM

CAM（Computer Aided Manufacturing）是用于计算切削轨迹等数据的软件。该软件根据 CAD 的形状数据计算刀具应如何移动切削，而刀具则根据计算得出的轨迹及切削速度执行切削动作。

图 ▪▪ CAM 软件示例，SRP Player（Roland DG 公司）



### ORIGINALMIND 公司的 KitMill 系列

KitMill 系列是 ORIGINALMIND 公司销售的小型台式 CNC 铣床。Kit 表示该设备需要由购买者自己组装。

这种设备将成本高的数控部分使用电脑来替代，从而有效地压缩了设备整体成本。设备本身没有配备 CAM 软件，而是另外销售比较便宜的 CAM 软件，可以处理 STL 文件，故也可以根据 3D CAD 制作的数据来完成加工。

KitMill 系列的价格比较适中，最顶级机型 KitMillRD300 的售价也不到 30 万日元（约合人民币 1.8 万元），所以即使 CAM 软件需要另外购买，总价也不过 30 万日元出头，购买后自家就也可以拥有 CNC 铣床了。现在就有一些年轻工程师的团体，充分利用了 ORIGINALMIND 公司的加工机开展专业的产品制造并销售自己的产品。

图 KitMill RD300/420




URL www.originalmind.co.jp/products/kitmill_rd



### CNC 铣床

专栏

铣床是使用叫做铣刀的切削工具（刀具）进行切削加工的设备。单纯的铣床主要是指手动控制的设备，而通过 CAM 计算刀具应如何移动，并可以使用计算机自动控制刀具动作的铣床称为 CNC 铣床。

## 受理个人委托的切削加工服务

虽然拥有一台可以随时用来加工的台式 CNC 铣床非常有吸引力，但熟练使用设备还需要一个过程，而且需要一定的初期投资，这对之前没有产品制造经验的人来说可能门槛就有些高了，所以不太可能马上就做出很多零件。另外，台式机切削树脂和木材等是完全没有问题的，但切削金属还是有些困难的。

这种情况下可以考虑借助专业切削加工的力量。过去这个委托过程需要绘制专门的图纸并要和受托方见面具体讨论定稿，这对于完全没有制造业经验的人来说是比较困难的。但近年来出现了切削加工服务，只要把完成的 3D 数据交给提供相应服务的公司就能委托其进行加工（但提供的数据仍然需要充分具备可生产性）。

### Proto Labs G.K..firstcut

firstcut 是由美国 Protolabs 公司的日本法人提供的切削加工服务，交货期很短。因为制造成本低、产品能够一个起订，所以既有来自于制造业合作企业的订单，也有来自于想要进行高级产品制造的个人的订单。借助这个服务，个人也可以用较低的成本制造专业水平的产品。虽然有各种具体的限制，但 STL 文件也可以用于该切削加工服务。

图 Proto Labs G.K. 的 firstcut

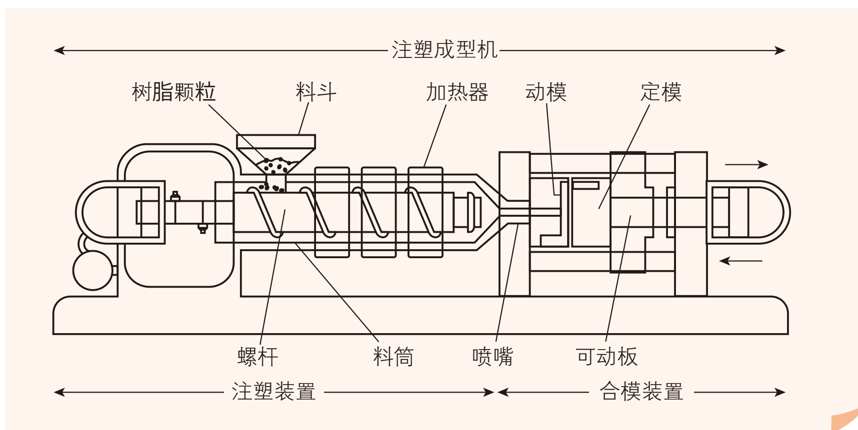



URL www.firstcut-cnc.jp/

## 8.1.2　注塑成型

注塑成型是使用叫做定模和动模的两个模具，在这两个模具之间注入树脂而成型的零件制造方法。可以说我们身边的大多数树脂产品都是用这种方法制造出来的。

图 ■ 注塑成型



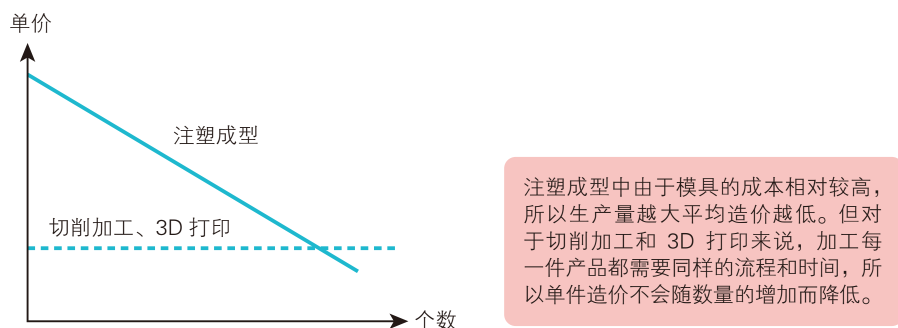

资料来源：Image Created by Brendan Rockey，University of Alberta Industrial Design

相比其他制造方法，这种方法的优点在于非常适合大批量生产。切削加工需要使用刀具分别切削每个产品，制造产品消耗的时间与产品的数量呈正比。所以相对来说切削加工更适于制造少量产品，不太适合制造大量产品。

另一方面，虽然使用注塑成型制造产品需要投入模具的费用（每种不一样，但小型产品的模具一套也至少要 100 万日元）（约合人民币 6 万元），但假设做一万个产品，分摊材料成本、人工费、模具费用，则每个产品的造价也就在几百日元或几十日元（约合人民币几十元或几元）的水平。如果已经收回模具成本不再用分摊，则造价会更低，正是这个原因使得现在以大批量生产为主的产品制造通常都会选用注塑成型的方法。

下图为单个产品使用模具加工与使用切削加工或 3D 打印制造的造价对比。

图 ■ 注塑成型与切削加工中产品的平均造价




## 面向个人的注塑成型服务

如上所述，即使是小型产品的模具造价也很高，所以说这种方式基本上不太适合个人或小规模产品制造。但由于近年来制造业中以中小型企业为代表，出现了小批量生产产品的趋势，所以这个领域也开始有提供廉价服务的企业了。

例如之前在切削加工中介绍的 Protolabs 公司也提供叫做 protomold 的服务，是可以在短时间内交货的小批量产品注塑成型服务。如果是小的零件，100 个就可以起订，因此包括模具费用在内，首次订货的费用可以控制在 100 万日元（约合人民币 6 万元）以内。

由于模具是可以持续使用的，所以之后再追加订单的话每个只要几百日元（100 日元约合人民币 6 元）就可以生产了。

如果有打算今后成为个人制造商的读者，还需要逐步对更多注塑成型的相关知识有所了解。

图 ▪▪ protomold




URL www.protomold.jp/

提示

近年来日本的一些中小型制造业者除了生产自行开发的产品外也开始承接小批量的产品制造，虽然在委托加工的时候需要有一定的制造业相关经验，但如果打算成为专业制造商，也可以考虑这种委托制造方式。

## 8.1.3 铸造

铸造是指将熔融的金属注入砂型中成型的制造方法，也是非常古老的制造方法之一。这种方法是破坏砂型来取出制造物的，所以不用担心死角等问题。我们熟知的汽车发动机就是铸造而成的，但不是使用砂型，而是使用金属铸型制造的。

图 ■ 铸造

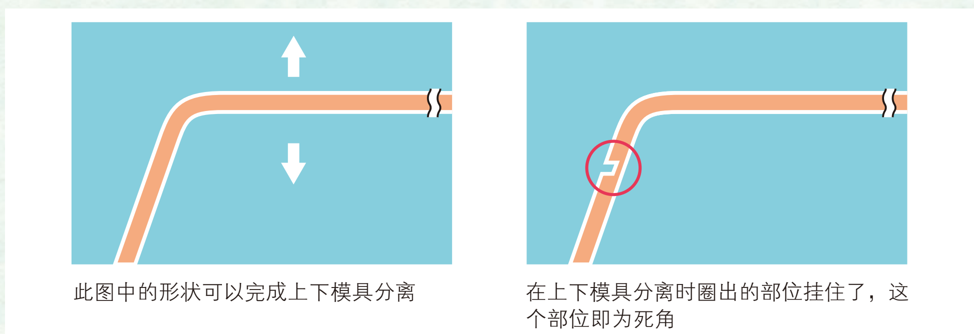



专栏

## 死角

死角是指在物体表面呈凸凹状、会妨碍物体与模具分离的部位。在注塑成型等方法中会通过设计平滑的结构来避免出现这种情况。

图 ■ 死角




铸造的优势在于不用担心死角的问题从而可以轻松完成复杂的形状。由于注塑成型需要有拔模的过程，必须考虑死角及拔模斜度（为了避免模具与物体间的摩擦而要将拔出方向上的平行面稍稍倾斜）的问题，所以有一些形状设计方面的局限性。

铸造与注塑还有一些区别，铸造是将超过金属熔点的、粘度较低的液体注入模具，而注塑是将温度较低（180℃~450℃）的材料使用高压注入模具。

有一些个人制造商使用铸造来制作首饰。这种情况下可以使用光敏成型树脂或蜡等材料通过 3D 打印做出原型，再用这个原型来制作砂型。把金属注入砂型即可得到最终的成品。

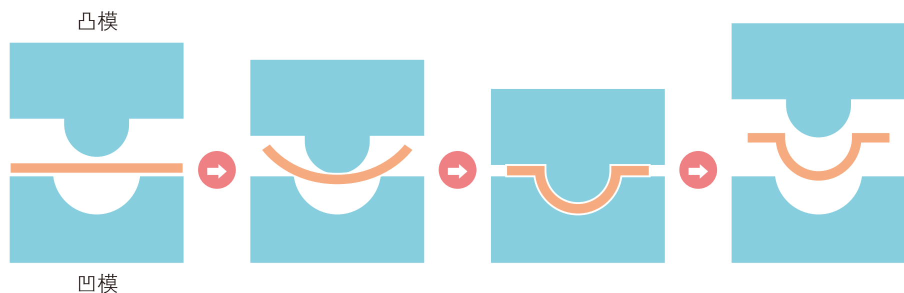
如果需要进一步了解首饰的铸造服务，可以试着在网上搜一下，应该可以找到很多相关的服务。

## 8.1.4　冲压成型

冲压成型是指使用模具向金属板材等材料加压，从而得到与模具相同形状产品的制造方法，例如汽车车体等的制造就是典型的冲压成型。

通常，金属都具有一定的弹性，即使施力使其变形，如果变形量小金属也会恢复原状，这在工学上称为弹性形变。但如果使其大幅变形（如将板弯折），金属就会保持被弯折的状态，这在工学上称为塑性形变。利用其塑性形变的性质对金属进行加工的方法称为塑性加工，冲压成型即为塑型加工的一种。当然，这种加工方法不只局限于金属，只要是利用材料的塑性形变性质进行的加工都属于这个范畴。

图 ■ 使用冲压成型方法进行拉伸加工的示例




冲压成型是通过弯曲金属来调整形状的加工过程，旧用锤子等敲打金属来成型的方法（锻造）也是类似的原理。但是如果想要用这种方法生产产品，个人是无法自己加工的，具体成型的过程只能委托能够进行钣金加工和冲压成型的工厂或企业来完成。

第8章

# 8.2 销售产品时的注意事项

如果有谁制造出了世界上独一无二的新产品，一定会想把它销售出去。越是好的东西越是希望与大家分享，给更多的人带来享受。而这对于个人制造商来说并不是遥不可及的梦想。

但是如果想要把制造出来的产品销售出去，就不能单纯以自己的兴趣来制造产品，而是要从不同的角度来思考。本书最后的部分就用来与大家探讨若想成为专业的个人制造商需要注意的几点问题。

## 8.2.1 虚拟与现实的区别

本书前面的内容中也提到过，3D 数据成立的物体不等同于现实中也成立。例如从叠加薄层材料的原理角度看，3D 打印机是有局限性的，厚度过于小的产品就不可能实现。而过于精细的造型可能在尚未使用时、清除支撑材料的阶段就已经损坏了。

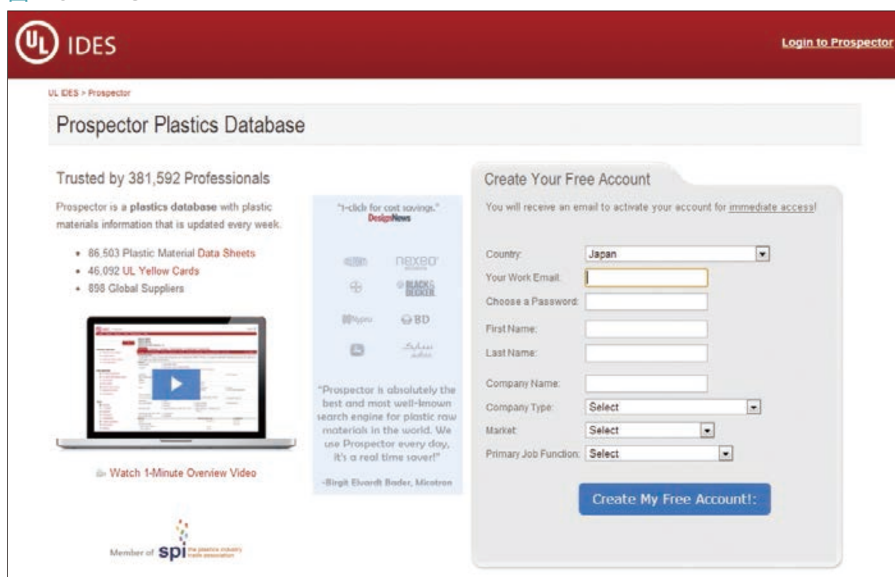
所以为了提高产品的品质，不仅需要了解制造设备的特点和具备可实现造型方面的知识，还要在此基础上综合考虑产品的强度和耐性，而这些与产品的用途和目的也是密不可分的。因此，在设计时需要全盘考虑这些因素来选用最合适的制造方法和材料。

### 关于材料的思考

在我们的日常生活中有各种各样的产品，它们都是根据各自的形状等各种因素选用了相应的材料生产出来的。关于材料的选择方法，虽然很难从书里或网上找到精准的答案，但可以先根据自己想要制作的产品考虑选择什么样的素材，是金属、树脂或是木材、陶瓷，然后再思考一下为什么要使用这样的材料。

在此基础上再去查找材料的相关资料。仅仅是金属，就分为很多具体的种类，当然各种金属的特性也各有不同。关于某种特定的材料，可以参考生产这种材料的企业官网，如果是树脂材料，还可以参考国际性的树脂材料数据库 UL IDES 等。

图 UL IDES




URL www.ides.com/register/prospector.aspx

## 8.2.2　学习专业 3D CAD

本书中用来建模的 3D CAD 为 Autodesk 公司提供的免费软件 123D Design。这款软件如果操作熟练的话可以完成非常丰富的建模。但这毕竟是一款面向消费级用户的软件，相比现在制造业相关人员使用的专业 3D CAD 来说还欠缺很多专业性设计所需的功能。如果打算进行专业的产品开发，还需要考虑导入专业的机械设计 3D CAD 软件。

制造业主要使用的机械类 3D CAD 软件如下。这里不再进行详细介绍，如果有需要可以查找资料做进一步调查。

- SolidWorks(SolidWorks)
- Autodesk Inventor(Autodesk)
- Solid Edge(西门子 PLM)
- Iron CAD(IronCAD)
- SpaceClame(SpaceClaim)
- ICAD/SX(iCAD)
- TopSolid(KODAMA Corporation)
- VectorWorks(A&A)
- Creo Parametric(PTC)
- Creo Direct(PTC)
- NX(西门子 PLM)
- Catia(DASSAULT SYATEMES)

另外还有如下一些收费但价格较低的 CAD，可以根据自己的使用需求选购。

- VariCAD(VariCAD)
- Rhinoceros(Robert McNeel & Associates)
- AlibreDesign(3DS)

### 8.2.3 批量生产的问题

仅从自己的兴趣出发使用消费级设备制造一个产品，和批量生产几十个产品有着很大的差别。

例如用 3D 打印机做出的试制品效果不错，想要批量生产所以准备使用注塑成型的方法，这时就会出现很多之前没有发现的问题。

可以说只要是物理上成立的形状都能用 3D 打印机打印出来，但在注塑加工时则需要使用模具，这时如果有死角等形状，可能会造成无法拔模，所以需要增加滑块或导块等结构的设计，也就是说从结构角度增加了成本。

而且由于注塑成型是通过注入树脂来成型的，为了使树脂能在模具里充分流动也需要对设计进行相应的修改。所以为了适应批量生产时制造方法的特点，有的时候还需要修改原设计。

参考书籍　**称心如意的树脂零件设计秘笈**




**书名**：思いどおりの樹脂部品設計ここがポイント！
**著者**：Proto Labs、水野操
**定价**：2 100 日元

- 160 页
- 日刊工业新闻社
- ISBN-13：978-4526068928

**【概要】**

本书介绍了如何设计容易制作、不出问题、外观又漂亮的树脂零件。力求从下游工序的模具设计及注塑成型加工的角度出发归纳相应的设计方法，并讲解应该注意的设计误区。这本书综合了成型、模具、材料等相关基础知识，并结合各种图表介绍了形状的具体设计要点。

### 8.2.4 价格与成本

对于没有产品制造经验的人来说比较难于掌握的问题之一是生产量与成本的关系。随着最近创客热潮的兴起，经常会有人与笔者讨论准备自己制造并销售原创产品。这时最大的问题是要如何定价和控制生产量。而且还要考虑直销还是代销，如果代销的话还需要考虑为中间环节预留多少利润空间。

例如，假设市场上有和自己的产品类似的商品，销售价位是 3 000 日元（约合人民币 180 元），自己的产品也想按照这个价位来销售，那造价应该控制在 1 000 日元（约合人民币 60 元）以内。如果造价高于这个水平就无法确保销售店、中间流通环节和自己的利润。

接下来的问题是如何把成本控制在这个水平。这时如果说生产量是 100 个，那控制起来就非常难了。已经在市场上销售的产品由于是使用模具生产的大批量产品才能达到这个成本水平。如果只生产 100 个，则无法回收模具的成本。而且即使用 3D 打印机能高效生产 100 个，生产时间也将会成为最大的成本，这也是非常难控制的。

并不是说不能用 3D 打印机打印或者生产的数量不能是 100 个，而是需要认真地根据所需数量和价格的相对关系来考虑合适的制造方法和设计方法。

成本控制是非常重要的。实际上在开始试制后就会发现，消耗的成本会以惊人的速度递增，如果再配合宣传和促销，成本增加的速度会更快，所以必须要非常注意成本的控制。

### 8.2.5　产品的质量

即使对于个人或小规模制造商，质量管理也是必不可少的环节。一些非常著名的个人制造商也都在反复地做产品测试来取得相关认证。不管是大企业还是个人制造的产品，一旦销售出去，都与用户是一对一的使用关系，如果出现次品就可能被投诉，如果造成伤害就会产生赔偿的问题。特别是对于小规模制造商，这些问题更是至关重要，需要对产品质量严格把关。这方面的相关情况可以参考如下的书籍。

参考书籍

**图解经商入门——掌握最新质量管理的基础知识及架构**




**书名：**図解入門ビジネス　最新品質管理の基本と仕組みがよ～くわかる本

**著者：**内田治、相泽键实、加濑三千雄

**定价：**1 680 日元

- 247 页
- 秀和系统
- ISBN-13：978-4798032122

另外，还需要考虑安全标准等问题。例如，如果销售电器则需要考虑工业标准认证许可的问题，如果销售餐具则需要考虑食品卫生法。如果销售时出现违法行为，不能以不知法为理由推脱。所以想要对自己准备涉足领域的安全标准有所了解，可以在书籍资料或网上查询相关信息。

● **一般财团法人 电气安全环境研究所**

URL www.jet.or.jp/

● **一般财团法人 日本品质保证机构**

URL www.jqa.jp/

还有一个非常重要的方法就是不要孤军奋战。各个领域都有非常有经验的专家，遇到问题与其自己闭门造车不如请教各领域的专家，以获得有效的帮助。

## 8.2.6 销售和宣传

无论是多么出色的产品，如果无人知晓也卖不出去。因此我们需要构筑通过宣传让人了解产品并引导这些人顺利购买产品的销售模式。

宣传方法有很多种，可以利用最新的社交媒体制造话题，当然也可以借助传统媒体的力量。

例如成功开发并销售 iRemocon 这款智能遥控器的个人制造商、glamo 公司的后藤功社长就是主要利用传统平面媒体取得宣传效果的。除了杂志等媒体外，他还很注意电视节目片尾播出的制作单位，找到相应的制作公司，准备简单易懂的资料给这些公司并请他们帮忙上电视，据说他通过这种方法开发出了很多商机。

图 iRemocon

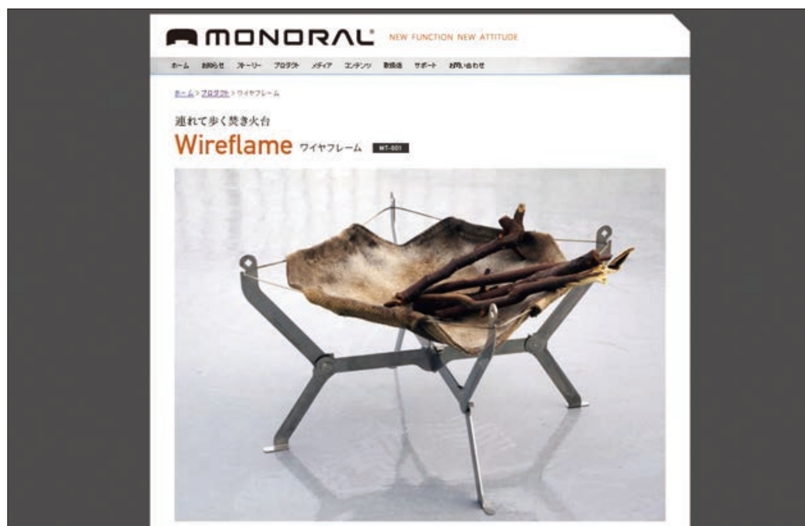



URL i-remocon.com

除此之外还有开发了便携式火盆 Wireflame 的 TSDESIGN 公司，该公司社长角南健夫的主要方法是在积极参加户外活动的同时，在户外杂志上以新闻的形式刊登介绍，采取了

一系列节省广告费用的宣传战略。

图 Wireflame




URL www.monoral.jp/

关于这些事例，笔者在拙著《数字创业》( KAKIN 出版社 ) 中做了详细的介绍，欢迎对此有兴趣的读者阅读。

## 8.2.7　结束语

感谢各位读者耐心读完全书。本书主要针对想要自己制造产品的读者，从“只要有电脑就什么都能制造”的观点出发，为大家提供相应的入门介绍。但遗憾的是是篇幅有限，笔者只能把大家领进门来，下面就要靠读者自己以本书为敲门砖去进一步学习知识、积累技巧和体验产品制造的乐趣了。

个人制造的乐趣在于，可以不折不扣、自由自在地实现自己的想法。虽然不一定能一次成功，但通过不断地努力最终一定会得到自己想要的产品。这个反复的过程也正是个人制造产品的乐趣和刺激之处，可以启发人进行更深度的思考。开始阶段就是一个试错的阶段，但这个世界上出色的产品也都是通过不断的试错生产出来的。我们要把试错也当作必不可少的部分，充分享受产品制造的乐趣。

想来今后还会涌现出许多专业的产品制造者。开始时可能只有独身一人，但不一定所有的事情都要亲历亲为，可以借助前辈们的成功经验和各领域的专业知识来开展自己的事业，这一点请一定要牢记。

最后，如果通过阅读本书能够引导读者真正开始尝试产品制造，笔者将备感荣幸。

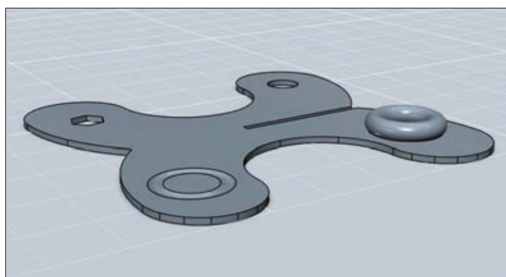
# 译者实践

本书译者按照书中的介绍实践了一下 3D 打印，现将实践过程分为数据建模和打印成型两部分进行具体介绍，以供各位读者参考。

## 数据建模

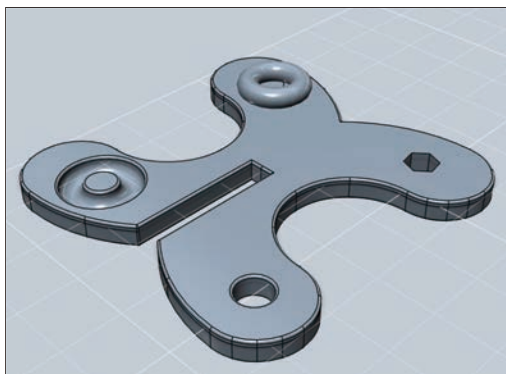
试验模型取名为“X 插件”。在 123D Design 网页版中制作一个译者的幸运字母“X”字样的模型作为基础形状，然后导入本地 123D Design 软件再追加建模其他部分。

图 基础形状



由于基础形状的基本厚度仅为 1mm，无法正常打印，所以对厚度、凹陷深度、长形缺口进行了修改。另外除六角形开孔的边以外，其他直角边都进行了倒圆角处理。最终完成的模型如下图所示。

图 打印用模型



将该模型数据在 123D Design 中生成 STL 文件，然后使用书中介绍的 STL 文件检查软件 MoNoGon 确认 STL 文件是否正常。

图 检查 STL 文件



下图是使用这个 STL 文件打印出来的成品，其中白色的为 ABS 材料，另一个为半透明光敏树脂材料。

图 ■ 打印出的成品



考虑书中介绍的间隙问题，这里在 X 插件上做了两处用于试验装配效果的设计：长形缺口和凸凹圆环。长形缺口在设计时预留了尽量大的横向和纵向间隙，以保证两个插件一定能插在一起。而凸凹圆环则没有设计间隙，凸出部分和凹进部分是完全相同的尺寸。最终的装配效果是通过缺口嵌入后用手摇动时稍显松动，但直观上基本感觉不到缝隙，而凸凹圆环嵌入时凸环和凹环镶嵌在一起，有子母扣的效果。

图 ■ 缺口嵌入



图 ■ 凸凹圆环嵌入



但仔细观察下图就会发现，通过凸凹圆环嵌入后，两个插件的基本平面没能完全贴合在一起，说明由于没有设计间隙，打印误差导致它们无法紧密结合在一起。不过，如果这里设计了若干间隙，虽然可以保证两个插件基本面完全贴合，但可能会导致凸环和凹陷的地方镶嵌起来没有那么紧，也就很难达到子母扣的效果了。

图 ■ 两个插件的基本平面



# 打印成型

## 国内服务

上图中成品的打印委托的是中国国内的叁迪网，两个插件共花费 52.41 元。将自己设计好的 STL 文件上传到该网站后可以自动算出体积并根据所选材料算出报价，模型需要通过人工审核后才可以打印。材料费和运费可以用支付宝等方式付款，过程中有什么问题还可以使用 QQ 与客服沟通，比较方便。

图 叁迪网 - 预览模型



但这家网站可选的打印材料比较少，只限于半透明光敏树脂、ABS 塑料、石膏等，网站上列出的很多材料都不能实际提供打印，需要在付款前与客服充分沟通。一些柔性材料、金属、陶瓷等材料也无法在这里打印。

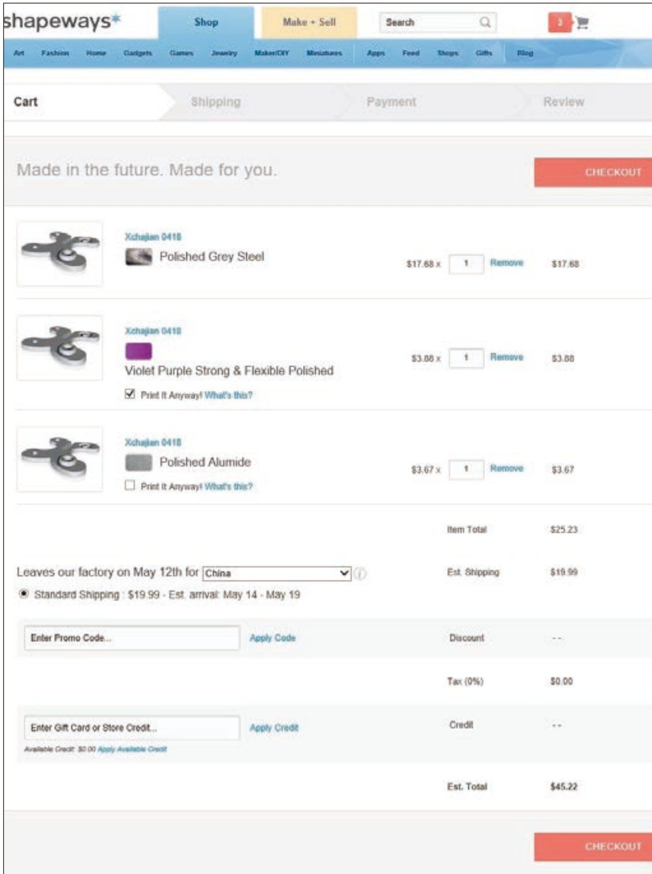
图 ▪ 叁迪网 - 订单



## 国外服务

译者还按照书上的介绍，将做好的数据文件上传到国外的成型服务网站，体验其他材质的打印效果。译者首先选择 shapeways 打印了柔性材料和金属材料的成品，其中有一个选了抛光处理。

图 ▪ shapeways- 订单



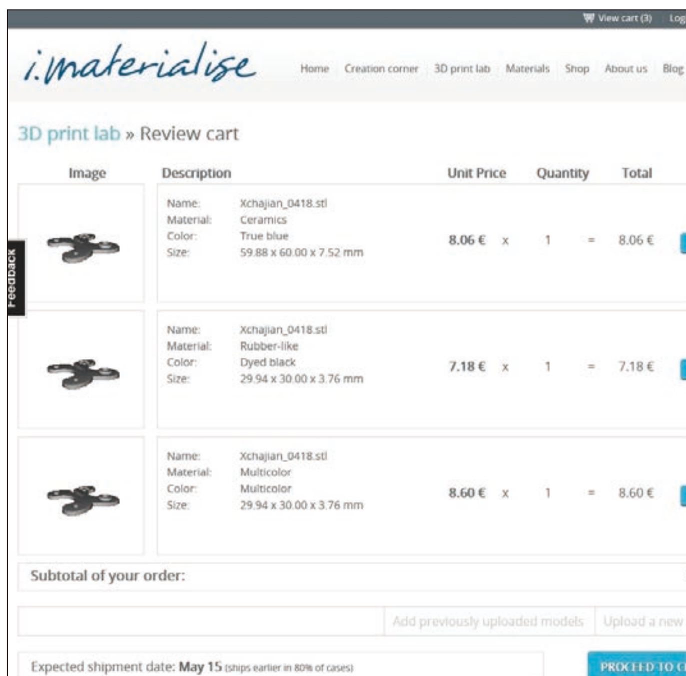

收到成品的样子如下图所示。

图 ▪ shapeways- 成品



另外，译者还在 i.materialise 委托了陶瓷、橡胶等材料的打印。其中陶瓷材料由于成型尺寸有限制，所以使用该网站提供的功能将模型扩大到 200%，然后就可以委托打印了。遗憾的是至译者截稿时尚未收到成品。

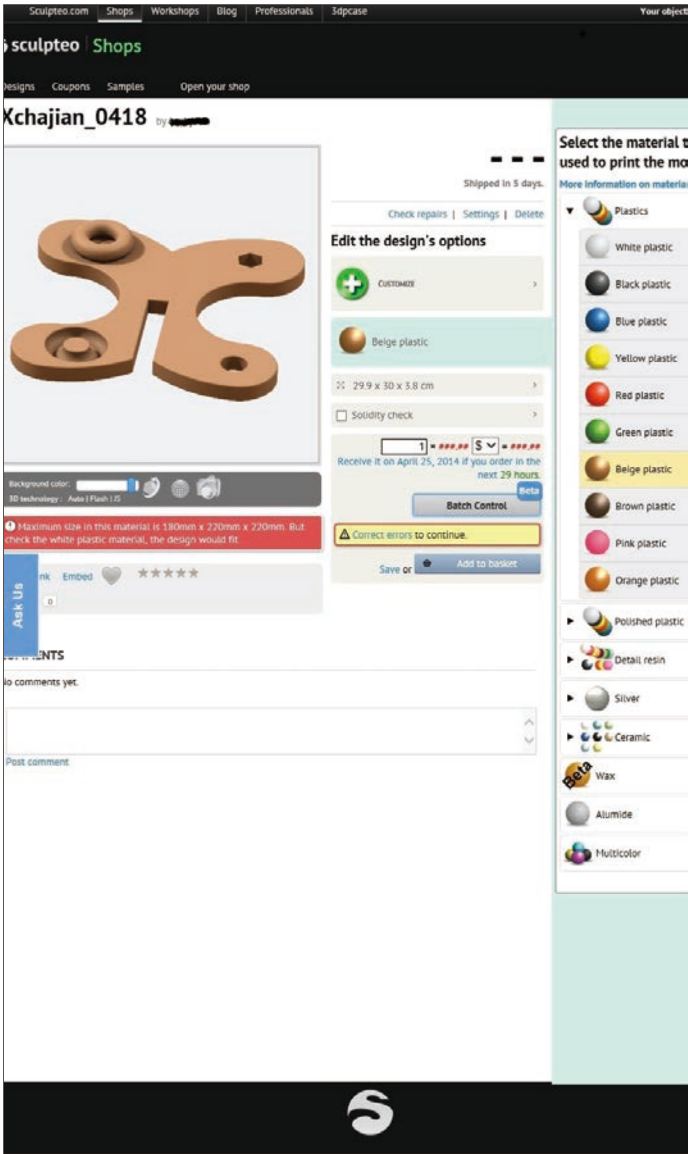
图 ▪ i.materialise- 订单




书中介绍的另外一个叫做 sculpteo 的网站，为模型选择某种材料后会自动显示相应的虚拟效果，非常直观！但 X 插件对应大部分材料都提示出错无法打印，所以很遗憾这次没

有选用这个网站。分析原因，可能是由于 X 插件的环形凹陷处厚度不够，所以数据无法通过自动审查。

图 sculpteo




希望以上的实践报告能为大家所做的设计提供一些参考，也愿每位读者朋友都能设计并打印出自己心仪的物品来。欢迎通过新浪微博 @ 日语翻译陶陶陶，一起交流心得！

## 参观打印过程

译者有幸能到北京的叁迪网打印中心参观实际的 3D 打印设备及 X 插件的打印过程，在这里与大家一并分享（感谢叁迪网的大力支持）。

图 叁迪网打印中心入口




下图为用光敏材料一次打印成型的齿轮树样品，每个齿轮都可以转动并且相互联动。

图 齿轮树样品



成型室里有各种快速成型设备，这里的门牌也是3D打印而成的。

图 成型室门牌



下图显示的是一台利用石膏粉末成型的3D打印机，可惜参观时设备正在调试维修，没能打印彩色的X插件。

图 ■ 利用石膏粉末成型的3D打印机



下图为白色ABS塑料X插件正在打印成型中。

打印完成的状态如图所示（X插件位于工作台中央部位）。

图 ■ 打印成型中



图 ■ 打印完成



下图中X插件下方稍大的部分是由支撑材料打印出来的，需要去除支撑材料才能得到X插件成品。

下图为半透明光敏树脂材料的X插件正在打印成型中。

图 ■ 支撑材料

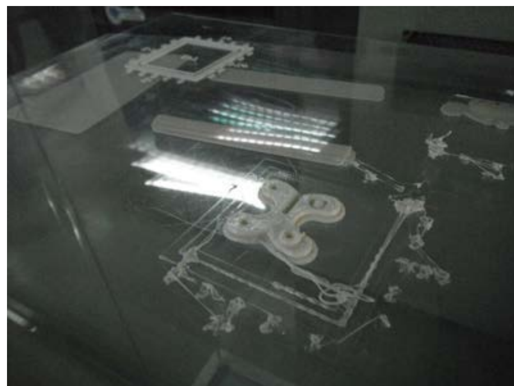
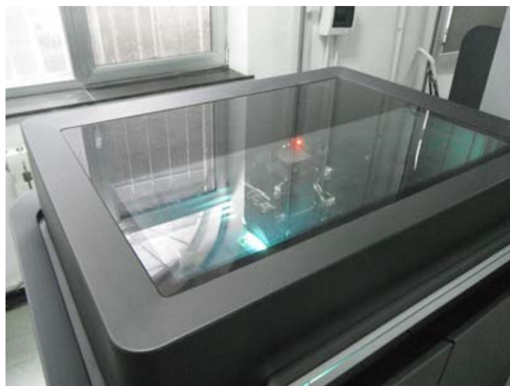


图 ■ 打印成型中



拉近镜头可以看到正在成型的 X 插件。

图 ▪ 成型中的插件 1

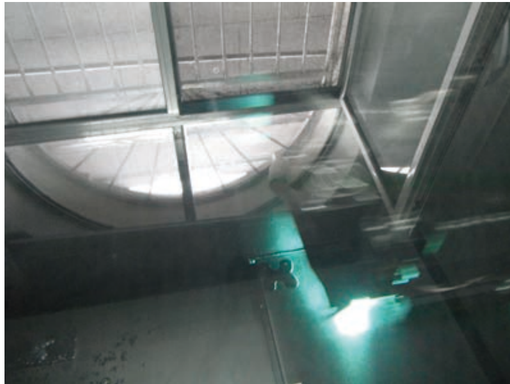
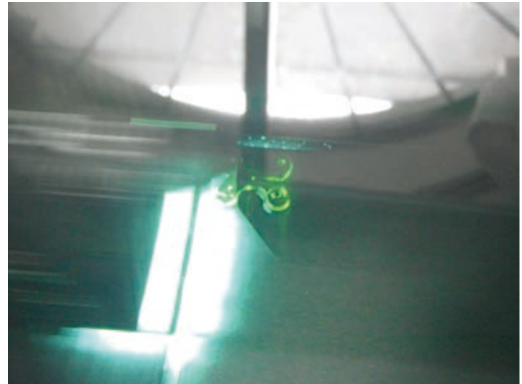


图 ▪ 成型中的插件 2



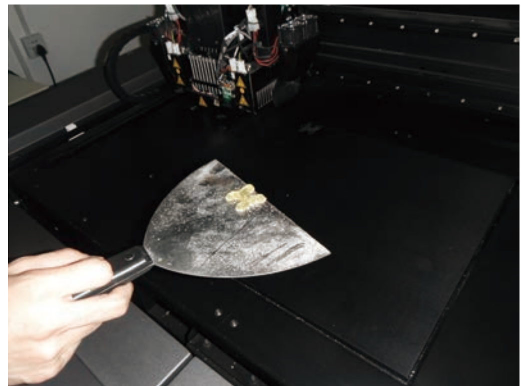
打印完成后的状态，这里的支撑材料为蜡质。

工作人员用铲刀取下模型，并在处理室清除支撑材料后得到最终成品 X 插件。

图 ▪ 打印完成



图 ▪ 取下模型



以上就是两个 X 插件的打印过程，这里再次感谢叁迪网的大力支持！







**叁迪网是北京上拓科技有限公司依托首都科技条件平台与北京工业设计促进中心强势推出的中国第一家在线 3D 打印电子商务服务平台。叁迪网为所有设计师和个人消费者提供个性化订制服务，并通过线下智能 3D 打印工厂高效实现个性化订制加工功能。**




叁迪网 - 中国首家 3D 打印及个性化定制平台

作为叁迪网线下 3D 打印体验店，上拓科技于 2012 年 11 月 20 日投资建设了中国首家 3D 打印体验馆——上拓 3D 打印体验馆。你可以在上拓 3D 打印体验馆打印一个缩小版的“你”，体验神奇的 3D 照相；也可以在上拓 3D 打印体验馆购买个人桌面 3D 打印机及相关配件、耗材、软件，更包括完善的售后服务支持；未来也可以在上拓 3D 打印体验馆自由设计、自由操作 3D 打印机，体验把自己的创意变为产品的美妙感觉！






叁迪网线下 3D 打印体验店

上拓科技：http://www.suntop-tech.com/

叁迪网：http://www.3drp.cn/

新浪微博 @ 叁迪网



只要是你能够想象到的东西或者现实中已经存在的东西，都有可能被 3D 打印机“打印”出来。

——周美芳，北京上拓科技有限公司创始人兼董事长。中国 3D 打印技术服务创新战略联盟秘书长



**足不出户，随心所欲DIY**

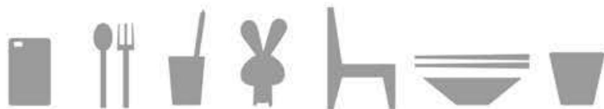
投身创客热潮，0元开启你的私人定制时代

**免费** 重点讲解如何使用免费的123D Design软件进行3D建模

**直观** 789张图片，以图配文，步骤详细、清晰易懂

**轻松** 介绍多家成型服务，让你足不出户也能制造物品

**进阶** 从制造到销售，教你如何成为专业的个人制造商



图灵社区：iTuring.cn
热线：(010)51095186转600

分类建议 计算机/硬件与维护

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn




ISBN 978-7-115-36727-3
定价：99.00元